Aus dem Kaiser-Wilhelm-Institut für Biologie in Dahlem
und dem Heiligenberg-Institut, Heiligenberg am Bodensee.

Experimente zur Analyse des chemischen Sinns des Regenwurms.

II. Versuche mit Chinin, Säuren und Süßstoffen.

Von

Otto Mangold.

Mit 4 Abbildungen im Text.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
I. Einleitung	502
II. Material und Methode	502
III. Chinin (Chinin hydrochloricum) im Vergleich mit reiner Gelatine (Tab. 2)	504
a—f) Versuche mit den Konzentrationen: 1 g—0,5 g—0,2 g—0,1 g—0,07 g—0,01 g	504
g) Übersicht über die Versuche Chinin: reine Gelatine (Tab. 2, Abb. 1)	507
IV. Säuren im Vergleich mit reiner Gelatine	511
1. Einführung und Methodisches	511
2. Salzsäure im Vergleich mit reiner Gelatine (Tab. 3)	512
3. Phosphorsäureanhydrid im Vergleich mit reiner Gelatine (Tab. 4)	516
4. Oxalsäure im Vergleich mit reiner Gelatine (Tab. 5)	519
5. Apfelsäure im Vergleich mit reiner Gelatine (Tab. 6)	522
6. Zitronensäure im Vergleich mit reiner Gelatine (Tab. 7)	524
7. Rechts-Weinsäure im Vergleich mit reiner Gelatine (Tab. 8)	526
8. Traubensäure im Vergleich mit reiner Gelatine (Tab. 9)	528
9. Besprechung der Versuche Säure: reine Gelatine (Tab. 10, Abb. 3a, b)	530

Seite
V. Versuche mit Süßstoffen 538
1. Glukose (Traubenzucker) im Vergleich mit reiner Gelatine (Tab. 11) 538
2. Saccharose (Rohrzucker) im Vergleich mit reiner Gelatine und im Vergleich mit Glukose (Tab. 12) 542
3. Saccharin im Vergleich mit reiner Gelatine (Tab. 13) 548
4. Besprechung der Versuche mit Süßstoffen (Abb. 4) 551
VI. Zusammenfassung der Ergebnisse 554
VII. Literaturverzeichnis 557

I. Einleitung.

In einer ersten einführenden Abhandlung (Mangold, 1924) wurden bei der Behandlung des Formsinns des Regenwurms die ersten einfachen Untersuchungen über den chemischen Sinn mitgeteilt. Eine zweite ausführliche Arbeit (Mangold, 1951) brachte die Entwicklung der Methode und schilderte das Verhalten der Würmer gegen Blätter von Pflanzen. Die nunmehr vorgelegte 3. Arbeit soll die Versuche schildern, die mit Chinin, einigen Säuren und einigen Süßstoffen angestellt wurden. Gearbeitet wurde wieder mit der Einziehmethode, die 1951, p. 45—53 genau beschrieben wurde. Die verschiedenen Stoffe wurden alle von den Regenwürmern wahrgenommen und im Vergleich mit reiner Gelatine in den höheren Konzentrationen stets abgelehnt, und zwar um so mehr, je höher die Konzentration gewählt wurde. Bei Säuren und Zuckern wurden aber die niedrigen Konzentrationen lieber genommen als die sehr beliebte reine Gelatine. Überraschenderweise zeigte die Ablehnung bei manchen Stoffen (besonders Chinin) eine mathematische Regelmäßigkeit, indem beim Vergleich mit reiner Gelatine die Einziehprozente der Geschmackseite bei ansteigenden Konzentrationen nach einer Exponentialkurve abfielen.

Die Versuche liegen, wie die mit Blättern, lange Zeit zurück. Sie wurden noch am Kaiser-Wilhelm-Institut für Biologie in Dahlem (1924—1933) ausgeführt. Meinen damaligen Mitarbeitern bzw. Mitarbeiterinnen (Dietrich Bodenstein, Marianne Steinle, Gertrud Schönawa und Johanna Kriebel, jetzt Frau Krause), die die langwierigen technischen Arbeiten großenteils besorgten, sei dabei wieder dankbar gedacht. Ein Teil der Versuche wurde schon 1931 und 1935 in den „Naturwissenschaften“ kurz und vorläufig veröffentlicht.

II. Material und Methode.

Über Material und Methode wurde 1951, p. 45—53 eingehend berichtet, so daß hier nur soviel angegeben werden muß, als für das Verständnis der Arbeit notwendig ist.

Bearbeitet wurden: Chinin, Salzsäure, Phosphorsäureanhydrid, Oxalsäure, Apfelsäure, Zitronensäure, R-Weinsäure, Traubensäure, Glukose (Traubenzucker), Saccharose (Rohrzucker) und Saccharin.

Bei allen Stoffen wurden mehrere Konzentrationen geprüft. Dabei wurden bei allen, ausgenommen Chinin, Salzsäure und Glukose, in der Hauptsache isomolekulare Mengen verwendet. Die Tab. 1 gibt eine Übersicht über die bearbeiteten Stoffe und die Konzentrationen, soweit sie isomolekular gewählt wurden. Von den weiter verwendeten Konzentrationen ist nur die Anzahl der Konzentrationsstufen angegeben (Tab. 1, letzte Reihe). Für die Berechnung der isomolekularen Konzentrationen bildeten Versuche mit Natriumchlorid die Grundlage. In allen Fällen wurden die angegebenen Mengen in 100 g Wasser + 20 g Gelatine gelöst, so daß also der Prozentsatz der Lösung etwas unter der angegebenen Konzentration liegt.

Tabelle 1. Übersicht über die verwendeten Stoffe und ihre Konzentrationen soweit sie isomolekular gebraucht wurden: Oxalsäure und Traubensäure unter Einschluß des Kristallwassers, sonst ohne. — Anm. 1) nur im Vergleich mit NaCl (S. 542).

Konzentr. stufen	Grammmoleküle	Bitterstoff Chinin	Säuren in g							Süßstoffe in g		
			Salzsäure	Phosph.-säure-anhydr.	Oxalsäure (+ Kr.-W.)	Apfelsäure	Zitronensäure	R.-Weinsäure	Traubensäure (+ Kr.-W.)	Glukose	Saccharose	Saccharin
A	0,0855	—	—	—	—	—	—	—	—	—	28,90	—
B	0,0428	—	—	3,04	—	5,73	8,98	9,05	—	—	14,46	—
C	0,0171	—	—	1,22	2,15	2,29	3,59	3,62	3,90	3,41[1])	5,78	3,13
D	0,0034	—	—	0,24	0,43	0,46	0,72	0,72	0,78	—	—	0,63
E	0,00068	—	—	—	0,08	0,09	0,14	0,14	—	—	—	0,13
F	0,00017	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,031
dazu nicht isomolekular		6 Stufen	7 Stufen	+3 Stufen	—	—	—	—	—	5 Stufen	2 Stufen	—

In den meisten Fällen wurde mit reiner Gelatine verglichen. Dazu wurden die „Geschmackstoffträger" (Kiefernadelbündel) auf der einen Querhälfte mit reiner Gelatine (100 g Wasser + 20 g Gelatine), auf der anderen mit Geschmackstoffgelatine überzogen (1951, Abb. 3). Die so verbreiteten „Träger" wurden abends zu je 25—60 in den Regenwurmterrarien ausgelegt und während der Nacht von den Würmern abgetastet, eingespeichelt und in ihre Löcher eingezogen, so daß sie pfahlartig in der Erde steckten. Beim Absuchen am nächsten Vormittag wurde dann festgestellt, mit welchen Enden sie eingezogen worden waren. Dabei ergaben sich bestimmte Zahlenverhältnisse, etwa 25 : 53; dies besagt, daß 25 Träger mit der Seite der reinen Gelatine und 53 mit der des Geschmackstoffs im Boden steckten.

Der Versuch mit einem Stoff und einer Konzentration wurde so viele Nächte wiederholt, bis die Zahlen eine einigermaßen sichere Beurteilung zuließen. Er bildete dann eine „Versuchsgruppe", die sich aus mehreren „Tagesversuchen" zusammensetzte. In jeder Versuchsgruppe wurde dann die „Gesamtzahl der Einziehungen", das gesamte „Zahlenverhältnis", das „Prozentverhältnis" der beiden Seiten, die „Prozentdifferenz", der „doppelte mittlere Fehler" und die „Wahrscheinlichkeit P", mit der das Zahlenverhältnis durch zufällige Variation zustande gekommen sein könnte, berechnet. Bei den Zahlenverhältnissen und den Prozentverhältnissen bezieht sich im Vergleich mit reiner Gelatine die erste Zahl stets auf reine Gelatine und die zweite auf den Geschmackstoff (z. B. reine Gelatine : Geschmackstoffgelatine = 240 : 80 = 75% : 25%). Die Differenz der Prozente bildet die „Maßzahl". Sie wurde positiv (+) geführt, wenn die Geschmackstoffseite, negativ (—), wenn die Seite der reinen Gelatine häufiger eingezogen worden war. Da bei der gleichen Wertung der beiden Seiten das Prozentverhältnis 50 : 50 zu erwarten ist, gibt die Maßzahl den Abstand der Einziehprozente von 50 doppelt wieder, erhöht also die Bevorzugung bzw. Ablehnung des Geschmackstoffs auf das Doppelte. Der doppelte mittlere Fehler (2 M) gibt eine Vorstellung von der Sicherheit der Zahlen. Er entspricht, wenn er auf die Maßzahl bezogen wird, dem einfachen mittleren Fehler der Variationsstatistik.

Der „Einziehindex" gibt die durchschnittliche Anzahl der Einziehungen pro Nacht und Terrarium an und vermittelt eine Vorstellung von der Einziehfreudigkeit der Würmer. Er ist von der Anzahl der Würmer, der Haltung der Würmer und der Anzahl der pro Terrarium und Nacht ausgelegten Geschmackstoffträger abhängig. Wenn je ca. 50 Würmer in den Terrarien vorhanden sind, die Haltung gut ist und pro Nacht ca. 25 Träger pro Terrarium ausgelegt werden, beträgt er ungefähr 4—12. Er kann aber bis auf 40 steigen. Als Vergleichszahl ist er nur beschränkt verwertbar, nämlich nur dann, wenn dieselben Terrarien mit denselben Würmern verwendet werden, die äußeren Bedingungen gleich sind, gleich viele Nadeln pro Nacht ausgelegt werden und den Würmern pro Nacht die gleiche Arbeitszeit zur Verfügung steht. Dies ist im allgemeinen bei unmittelbar aufeinanderfolgenden Tagesversuchen und auch Versuchsgruppen der Fall. In einigen Fällen konnte die Einziehfreudigkeit für bestimmte Schlußfolgerungen herangezogen werden. Beim Vergleich mit reiner Gelatine zeigte sie im allgemeinen wenig Beziehung zu der Beliebtheit des geprüften Geschmackstoffes.

Mehrfach wurden die ermittelten Werte auch graphisch dargestellt (Abb. 1—4). Dabei wurden die Einziehprozente der Geschmackseite und in einzelnen Fällen auch ihre Logarithmen verwendet.

Ich beschreibe zuerst die Versuche mit Chinin, dann die mit Säuren und schließlich die mit Süßstoffen.

III. Chinin (Chinin hydrochloricum) im Vergleich mit reiner Gelatine. (Tab. 2).

Für die Versuche mit Chinin wurde Chininhydrochlorid ($C_{20}H_{24}N_2O_2 \cdot HCl + 2\,H_2O$) der Firma Kahlbaum in Berlin-Adlershof verwendet. Zu 100 g Wasser und 20 g Gelatine wurden;

1 g Chinin = 0,00278 g - mol,
0,5 g Chinin = 0,00139 g - mol,
0,2 g Chinin = 0,00056 g - mol,
0,1 g Chinin = 0,00028 g - mol,
0,07 g Chinin = 0,00019 g - mol und
0,01 g Chinin = 0,00003 g - mol

zugesetzt und dann mit reiner Gelatine verglichen. Die prozentualen Konzentrationen liegen teils etwas unter den Grammwerten. Die meisten Versuche wurden schon in den Jahren 1924—26 ausgeführt, 2 Versuchsgruppen mit 0,1 g in den Jahren 1930 und 1931. Mit 0,1 g wurde in 4 zeitlich weit getrennten Versuchsgruppen gearbeitet, über die schon 1951, p. 449ff. berichtet wurde. In 2 Versuchsgruppen wurden die Träger ganz mit Chiningelatine überzogen. Die Ergebnisse aller Versuche sind in der Tab. 2 zusammengestellt.

a) 1,0 g Chinin im Vergleich mit reiner Gelatine. (17.—18./2. 1926, Prot. 174—176, Tab. 2).

Die Versuche mit 1,0 g Chinin folgten unmittelbar auf solche, in denen Saccharose und Traubenzucker direkt verglichen worden waren. Sie verliefen sehr eindeutig. 4 Terrarien standen in Arbeit. Ihre Würmer zogen sehr gut und sehr gleichmäßig ein (Ind. 11,4). 2 Tagesversuche ergaben schon ein klares Bild. Die Zahlenverhältnisse der 8 Terrarien waren reine Gelatine : Chiningelatine 9:0, 9:1, 11:1, 10:1, — 10:0, 11:0, 11:2, 14:1; diejenigen der Tagesversuche 39:3 und 46:3. Insgesamt wurden also eingezogen 91, davon 85 auf der Gelatineseite und 6 auf der Chininseite. Demnach waren das Prozentverhältnis 93,4:6,6, die Prozentdifferenz — 86,8, 2 M = 5,2 und $P = 10^{-10}$. — 1,0 g Chinin wurde also nahezu vollständig abgelehnt im Vergleich mit reiner Gelatine.

Die nahezu vollständige Ablehnung der Chininseite legte die Frage nahe, ob die Ablehnung der für den Menschen sehr stark bitter schmeckenden Chiningelatine eine absolute oder nur eine relative sei, d. h. ob das Chinin in der 1 g-Konzentration für die Würmer überhaupt nicht annehmbar ist oder nur sehr viel weniger gern genommen wird als die reine Gelatine. Zur Prüfung dieser Frage wurden unmittelbar anschließend in 1 Tagesversuch Träger geboten, die vollständig mit der 1 g-Chinin-Gelatine überzogen waren. Die Würmer betasteten die Träger ohne zurückzuschrecken, bearbeiteten sie aber wenig und zogen insgesamt nur 24 ein (Seitenverhältnis 13:11). Der Einziehindex war 6,0. Jedes Terrarium hatte sehr gleichmäßig ungefähr halb soviel eingezogen wie in den oben geschilderten vorausgehenden Vergleichsversuchen r. Gelatine: 1,0 g Chinin (Ind. 11,4). Die Zahlenverhältnisse der Terrarien waren nämlich 4:2, 3:3, 3:1 und 3:5. Bei den unmittelbar nachfolgenden Versuchen, in denen Gelatine mit 57,80 g Saccharose verglichen wurde, stieg die Einziehleistung wieder auf das doppelte. Der Einziehindex betrug nämlich 12,8, und die Zahlenverhältnisse waren 7:6, 11:2, 9:4 und 8:4. — 1,0 g Chinin wird also nicht vollkommen abgelehnt, sondern nur sehr viel weniger gern genommen als reine Gelatine.

b) 0,5 g Chinin im Vergleich mit reiner Gelatine. (27./4.—4./5. 1926, Prot. 196—198, Tab. 2).

Die Vergleichsversuche reine Gelatine : 0,5 g Chiningelatine lagen etwas später als die mit 1 g Chinin. Sie folgten auf solche mit 14,46 g Saccharose. 3 Terrarien wurden verwendet. Ihre Würmer waren andere als in den früheren Chininversuchen. Sie zogen sehr gut ein (Ind. 15).

Die 5 Tagesversuche ergaben sehr regelmäßige Ergebnisse und waren alle negativ für Chinin. Ihre Zahlenverhältnisse waren Gelatine:Chinin 42:10, 39:9, 35:9, 48:4, 32:8, 27:8. Auch alle 18 Terrarienergebnisse waren negativ. Die Gesamtzahl der Einziehungen betrug 271. 223 waren auf der Gelatineseite und 48 auf der Chininseite eingezogen worden. Daraus errechneten sich das Prozentverhältnis 82,3:17,7, die Prozentdifferenz —64,6, 2 M = 4,6 und $P = 10^{-10}$. — 0,5 g Chinin wurde, verglichen mit reiner Gelatine, sehr stark abgelehnt.

c) 0,2 g Chinin im Vergleich mit reiner Gelaline. (14.—29./1. 1926, Prot. 150—161, Tab. 2).

Der Vergleichsversuch r. Gelatine: 0,2 g Chiningel. schloß unmittelbar an Versuche mit 1 g NaCl an. Mit 4 Terrarien wurden im ganzen 8 Tagesversuche durchgeführt, die 5 ersten in ununterbrochener Folge, die 3 letzten unter jeweiliger Vorschaltung von 2 Tagesversuchen mit r. Gelatine : 5,78 g Saccharose. Die Einziehleistung war gut und stieg im Laufe der Versuche etwas an. Ich behandle die 5 ersten und die 3 letzten Tagesversuche als 2 Versuchsgruppen.

1. Bei der ersten Gruppe (14.—18 1. 1926) betrug der Einziehindex 8,8. Die 5 Tagesergebnisse waren alle negativ für Chinin, schwankten aber in mäßigen Grenzen (27:7, 20:9, 21:14, 21:13, 32:11). Von den Terrarienresultaten waren 2 positiv, 16 negativ und 2 indifferent für Chinin. Die Gesamtsumme der Einziehungen betrug 175. 121 Träger waren auf der Gelatineseite und 54 auf der Chininseite eingezogen worden. Das Prozentverhältnis war 69,1:30,9, die Prozentdifferenz —38,2, 2 M = 7,0 und $P = 10^{-6}$. — Die Chininseite war stark abgelehnt worden.

2. Die zweite Gruppe bestand aus 3 Tagesversuchen mit einem Index von 10,0. Ihre Zahlenergebnisse schwankten sehr beträchtlich; besonders das erste zeigte ein ungefähr indifferentes Verhalten (27:26, 26:8, 46:11). 3 Terrarienergebnisse waren positiv, 8 negativ und 1 indifferent für Chinin. Insgesamt wurden eingezogen 144, davon 99 auf der Gelatineseite und 45 auf der Chininseite. Daraus berechnete sich das Prozentverhältnis 68,8:31,2, die Prozentdifferenz —37,6, 2M = 7,7 und $P = 10^{-5}$. — Chinin wurde wieder stark abgelehnt. Die Prozentdifferenz war nur um 0,6 geringer als bei der ersten Gruppe. Der Einfluß der Vor- bzw. Zwischenschaltung der Saccharoseversuche war also, im gesamten gesehen, negativ. Nur das 1. Tagesergebnis fällt stark aus der Reihe und deutet auf eine Schwankung der Würmer hin.

Nimmt man beide Versuchsgruppen zusammen, so erhält man die Gesamtzahl der Einziehungen 319, nämlich 220 für Gelatine und 99 für Chinin, das Prozentverhältnis 69,0:31,0, die Prozentdifferenz —38,0, 2 M = 5,2 und $P = 10^{-10}$.

d) 0,1 g Chinin im Vergleich mit reiner Gelatine (Tab. 2).

0,1 g Chiningelatine wurde mit reiner Gelatine in 4 zeitlich auseinanderliegenden Versuchsgruppen verglichen. An ihnen wurde schon in der vorigen Abhandlung (1951 S. 449) die Darstellungsform und Beweiskraft der Versuche aufgezeigt; daher sind nur noch ergänzende Angaben notwendig. Die kalte Chiningelatine schmeckte unangenehm und stark bitter.

1. Die erste Versuchsgruppe lief von 8./10. bis zum 20. 11. 1924 und gehörte zu den ersten Versuchen mit chemischen Stoffen (Prot. 27—37). Sie bestand aus 16 Tagesversuchen, zwischen die mehrfach andere Versuche bzw. eintägige Pausen eingeschaltet worden waren. Die Tagesresultate sind früher (1951 p. 451) mitgeteilt worden. Die Gesamtzahl der Einziehungen betrug 269, das Zahlenverhältnis reine Gelatine : Chinin 176:93, das Prozentverhältnis 65,4:34,6, die Prozentdifferenz —30,8, 2 M = 5,8 und $P = 10^{-8}$. — 0,1 g Chinin wurde stark abgelehnt.

2. Die zweite Versuchsgruppe wurde vom 1.—3. April 1926 im direkten Anschluß an Saccharoseversuche (57,80 g) durchgeführt (Prot. 183—185). 4 Terrarien mit gut einziehenden Würmern wurden verwendet (Ind. 9,5). Die 4 Tagesversuche folgten unmittelbar aufeinander und ergaben die mäßig schwankenden Zahlenverhältnisse 30:15, 22:17, 22:10 und 26:11. Die Gesamtzahl der Erziehungen war 153, das Zahlenverhältnis 100:53, das Prozentverhältnis 65,4:34,6, die Prozentdifferenz —30,8, der doppelte mittlere Fehler 2 M = 7,6 und $P = 10^{-4}$. — Das Maß der Ablehnung war genau so groß wie in der ersten Versuchsgruppe.

3. Die dritte Versuchsgruppe lag vom 4.—11. Dez. 1931 (Prot. 738—744). Unmittelbar voraus gingen Versuche mit 0,6 g NaCl. 8 Terrarien mit nur schlecht arbeitenden Würmern standen im Versuch (Ind. 3,7). Die 6 Tagesversuche folgten direkt aufeinander. Ihre Zahlenverhältnisse waren mäßig schwankend und alle negativ für Chinin (19:11, 17:6, 15:7, 19:9, 29:13, 19:15). Die Gesamtzahl der Einziehungen war 179, das Zahlenverhältnis 118:61, das Prozentverhältnis 65,9:34,1, die Prozentdifferenz —31,8, 2 M = 7,0 und $P = 10^{-5}$. — Die Ablehnung war nur 1% höher als in den beiden ersten Versuchsgruppen.

4. Die 4. Versuchsgruppe wurde schließlich vom 5.—8. Juli 1932 durchgeführt. (Prot. 898—902). Sie folgte unmittelbar auf Versuche mit 0,4 g NaCl. Die Würmer von 8 Terrarien

arbeiteten in 4 aufeinander folgenden Tagesversuchen nur mäßig (Ind. 5,8). Die Zahlenverhältnisse der Tagesversuche waren 19:7, 23:18, 38:20, 42:18; alle waren negativ für Chinin. Die Gesamtzahl der Einziehungen war 185, das Zahlenverhältnis 122:63, das Prozentverhältnis 66,0:34,0, die Prozentdifferenz —32,0, 2 M = 7,0 und $P = 10^{-5}$. — Die Ablehnung lag um 1,2% höher als in den beiden ersten und um 0,2% höher als in der 3. Versuchsgruppe.

Die außerordentlich auffallende Übereinstimmung der Ergebnisse der 4 Versuchsgruppen wurde schon 1951 p. 452 besonders besprochen und ausgewertet. Die Schwankung betrug nur ungefähr ein Sechstel (7,6:1,2) des einfachen mittleren Fehlers! Dies ist besonders auffällig, da die Würmer die für den Menschen noch sehr stark bitter schmeckende 0,1 g — Chiningelatine offensichtlich noch recht gerne nehmen. Dafür spricht die Beobachtung in der ersten Versuchsgruppe, daß die Würmer die Träger sehr lebhaft abtasteten und einspeichelten. Auch wurde festgestellt, daß das sehr stark einziehende Terrarium A in seiner Einziehintensität nicht gehemmt wurde, wenn die ganzen Träger mit 0,1 g Chiningelatine überzogen waren (Prot. 28). Seine Einziehleistung betrug nämlich 33 (!) gegenüber 25 und 21 in den vorausgehenden bzw. nachfolgenden Tagen, in denen mit reiner Gelatine verglichen wurde. Bei 1,0 g Chinin waren die Ergebnisse anders (S. 504).

Zieht man alle 4 Versuchsgruppen zusammen, so erhält man die Gesamtzahl der Einziehungen 786, das Zahlenverhältnis 516:270, das Prozentverhältnis 65,7:34,3, die Prozendifferenz —31,4, 2 M = 3,4 und $P = 10^{-10}$.

e) 0,07 g Chinin im Vergleich mit reiner Gelatine. (21./11.—15./12. 1924, Prot. 38—45, Tab. 2).

Die Versuche r. Gel. : 0,07 g Chinin schlossen unmittelbar an die erste Versuchsgruppe mit 0,1 g Chinin an. Die 0,07 g — Chiningelatine schmeckt noch sehr bitter. 6 Terrarien wurden verwendet; drei davon mußten im Lauf des Versuches ausgeschaltet werden, da sie nicht arbeiteten und ihre Würmer z. T. krank waren. Obgleich die Würmer erst 1—2 Monate in Gefangenschaft waren, zeigten sie nur eine schlechte Einziehleistung (Ind. 3,3). Daher waren 16 Tagesversuche mit zusammen 73 Terrarien notwendig. Ihre Zahlenverhältnisse waren 7:2, 17:19, 12:8, 13:5, 13:10, 11:5, 5:3, 15:2, 6:4, 9:7, 11:4, 10:1, 8:3, 9:0, 7:0, 4:4. Sie zeigten deutlich die geringere Wertung der Chininseite; denn 14 waren negativ, 1 positiv und 1 indifferent für Chinin. Die Gesamtzahl der Einziehungen war 244, das Zahlenverhältnis 157:87, das Prozentverhältnis 64,3:35,7, die Prozentdifferenz —28,6, 2 M = 6,1 und $P = 10^{-5}$. — Die 0,07 g - Chiningelatine wurde im Vergleich mit reiner Gelatine noch stark abgelehnt.

f) 0,01 g Chinin im Vergleich mit reiner Gelatine (Tab. 2).

Der Versuch mit 0,01 g Chinin wurde in 2 Versuchsgruppen durchgeführt, die getrennt besprochen werden. In der 0,01 g — Chiningelatine ist das Chinin für den Menschen kaum noch wahrnehmbar.

1. In der ersten Versuchsgruppe (5./1.—26./2. 1925, Prot. 47—54) wurden dieselben Würmer verwendet wie beim Versuch mit 0,07 g Chinin. Trotz der Einschaltung einer Blattfütterung von ca. 14 Tagen Dauer hatten sie sich offenbar nicht recht erholt, sodaß von 6 zur Verfügung stehenden Terrarien nur 3, 1 oder 2 in Arbeit genommen werden konnten. 30 Tagesversuche mit zusammen 59 Terrarien wurden durchgeführt. Faßt man jeweils 5 aufeinanderfolgende Tagesversuche zusammen, so erhält man folgende Zahlenverhältnisse für r. Gel. : Chiningelatine: 11:10, 16:12, 21:10, 19:21, 12:9, 14:7. Von ihnen sind 5 negativ und 1 schwach positiv für Chinin. Insgesamt wurden eingezogen 162, davon 93 auf der Gelatineseite und 69 auf der Chininseite. Daraus errechneten sich das Prozentverhältnis 57,4:42,6, die Prozentdifferenz —14,8, 2 M = 7,8 und P = 0,06. — Die Chininseite wurde noch abgelehnt. Die Sicherheit beträgt 94%.

2. Die 2. Veruchsgruppe wurde vom 22. bis 27. März 1926 durchgeführt (Prot. 185—188). 3 Wochen Pause mit Blattfütterung waren vorausgegangen. 4 Terrarien mit gut arbeitenden Würmern standen in Arbeit (Ind. 8,5). Die 6 Tagesversuche zeigten die Zahlenverhässnisse 19:16, 23:20, 22:17, 20:17, 14:14, 12:11. 5 waren wieder schwach negativ und 1 indifferent für Chinin. Von den 24 Terrarienergebnissen waren 6 positiv, 11 negativ und 7 indifferent. Ferner waren die Gesamtzahl der Einziehungen 205, das gesamte Zahlenverhältnis 110:95, das Prozentverhältnis 53,7:46,3, die Prozentdifferenz —7,4, 2 M = 8,0 und P = 0,30. — In dieser Versuchsgruppe wurde die Chiningelatine der reinen Gelatine nahezu gleich gewertet. Wahrscheinlich wurde sie schwach abgelehnt. Das Ergebnis kann aber mit 30% Wahrscheinlichkeit auch zufällig sein.

Die Ergebnisse der beiden Versuchsgruppen sind etwas verschieden. Die erste ergab eine Prozentdifferenz von —14,8, die zweite eine solche von —7,4. Offenbar waren die Würmer in

er ersten Versuchsgruppe etwas empfindlicher für Chinin als in der zweiten, was im Hinblick f ihren schlechteren Gesundheitszustand verständlich erscheint.

Nimmt man beide Versuchsgruppen zusammen, so erhält man die Gesamtzahl der Einehungen 367, das Zahlenverhältnis 203:164, das Prozentverhältnis 55,3:44,7, die Prozentfferenz —10,6, 2 M = 5,2 und P = 0.04. — Dies Ergebnis läßt schließen, daß die Würmer 0,01 g hinin in 100 g Wasser und 20 g Gelatine noch wahrnehmen können und im Vergleich mit iner Gelatine schwach ablehnen. Da wir Menschen den Bittergeschmack des Chinins in eser Konzentration kaum mehr wahrnehmen, **liegt die Reizwelle für Chinin beim egenwurm ähnlich niedrig wie beim Menschen.**

Tabelle 2. Chinin im Vergleich mit reiner Gelatine.

Konz. in g	Anzahl der		Eingezogen			%		Diff. d. %	P
	Vers.	Terr.	insges.	r. Gel.	Chinin	r. Gel.	Chinin		
1	2	8	91	85	6	93,4	6,6	—86,8	10^{-10}
0,5	6	18	271	223	48	82,3	17.7	—64,6	10^{-10}
0,2	8	32	319	220	99	69,0	31,0	—38,0¹)	10^{-10}
0,1	30	132	786	516	270	65.7	34,3	—31,4²)	10^{-10}
0,07	16	73	244	157	87	64,3	35,7	—28.6	10^{-5}
0,01	13	83	367	203	164	55.3	44.7	—10,6³)	0,04

1) Ergebnis von 2 Versuchsgruppen mit den Prozentdifferenzen —38,2 und —37,6.
2) Ergebnis von 4 Versuchsgruppen mit den Prozentdifferenzen —30,8; —30,8; —31,8 und —32,0.
3) Ergebnis von 2 Versuchsgruppen mit den Prozentdifferenzen —14,8 und —7,4.

g) Übersicht über die Versuche Chinin: reine Gelatine. (Tab. 2, Abb. 1).

Die Versuche mit Chinin haben sehr eindrucksvolle Resultate ergeben. Chinin wird offensichtlich sehr gut wahrgenommen. Die Reaktionsschwelle der Würmer liegt unter der niedrigst geprüften Konzentration von 0,01 g (= 0,0083 % oder etwa 0,00028 g-mol), d. h. etwa bei einer 0,002 mol Chinin-Gelatine-Lösung. Die Reaktionsschwelle der Würmer gegenüber der Chiningelatine besitzt offenbar eine ähnliche Größe wie die des Menschen; denn die Versuchsperson gibt an, daß in der 0,01-g-Chiningelatine das Chinin kaum mehr wahrgenommen werden konnte. Der Chiningeschmack wurde offensichtlich durch die Gelatine stark gedämpft, denn in der wässerigen Lösung liegt die Reizschwelle für den Menschen zwischen 0,000002 und 0,00005 mol (v. Skramlik, 1926, p. 492).

Alle Konzentrationen wurden weniger gern genommen als die reine Gelatine. Die Ablehnung ist um so größer, je stärker die Konzentration ist. Zieht man die mehrfach angestellten Versuchsgruppen in denselben Konzentrationen zusammen, so erhält man folgende ansteigende Reihe der Maßzahlen: —10,6, —28,6, —31,4, —38,0, —64,6, —86,8. Ob man bei einer weiteren Steigerung der Konzentration über 1 g hinaus zu einer vollständigen Ablehnung kommen würde, kann nicht gesagt werden.

Die 1-g-Chiningelatine schmeckt für den Menschen außerordentlich bitter; für den Regenwurm ist sie aber immer noch annehmbar; denn er zeigte beim Abschmecken der Geschmackstoffträger keinerlei Schreckreaktion und zog auch Träger, die vollständig mit 1-g-Chiningelatine überzogen worden waren, noch ein. Dabei zeigte sich aber eine verminderte Einziehfreudigkeit, die in der

Reduktion des Einziehindex auf die Hälfte ihren Ausdruck fand. Die ebenfalls noch stark bitter schmeckende 0,1-g-Gelatine führt dagegen, den Würmern allein geboten, keine Reduktion der Einziehfreudigkeit (Einziehindex) herbei, ist ihnen also offenbar nicht unangenehm, wenn sie auch nicht so gern wie reine Gelatine genommen wird. Im Vergleich mit reiner Gelatine besteht offensichtlich kein Optimum; denn es ist nicht anzunehmen, daß unter der 0,01-g-Konzentration noch ein solches zu finden ist. Chinin schmeckt für den Wurm in allen Konzentrationen weniger angenehm als reine Gelatine.

Besonders eindrucksvoll bei den Chininversuchen ist auch die Präzision der Unterscheidung. Mit mehreren Konzentrationen liegen mehrere zu verschiedenen Zeiten, mit verschiedenen Würmern und wohl auch unter etwas verschiedenen äußeren und inneren Bedingungen durchgeführte Versuchsgruppen vor. Bei der 0,2-g-Konzentration differierten die Maßzahlen der beiden Versuche um 0,6, also etwa $^1/_{10}$ des doppelten mittleren Fehlers, d. h. die Ergebnisse schwankten um $^1/_{10}$ des einfachen mittleren Fehlers (s. 1951, p. 450). In diesem Falle waren Zeit und Würmer dieselben. In der 2. Versuchsgruppe waren aber den einzelnen Tagesversuchen jeweils 2 Tagesversuche mit Saccharose vorgeschaltet worden.

Die 0,1-g-Versuche wurden zu verschiedenen Zeiten und mit verschiedenen Würmern 4mal durchgeführt. Die Maßzahlen differierten im Maximum um 1,2, d. h. um etwa $^1/_6$ des doppelten mittleren Fehlers. — In der 0,01-g-Konzentration besitzen wir 2 Versuchsgruppen mit den Maßzahlen —14,8 und —7,4. Die Differenz ist hier ungefähr gleich 2 M, ist aber wahrscheinlich nicht einfach auf die natürliche Schwankung zurückzuführen, sondern auf eine höhere Empfindlichkeit der Würmer in der 1. Versuchsgruppe. — Man sieht, die Differenz der Maßzahlen bei den Versuchen mit derselben Konzentration ist um so geringer, je höher die Konzentration ist. Dies ist durchaus verständlich, da mit der steigenden Konzentration auch die Intensität des Reizes steigt. Im Bereich der Reaktionsschwelle ist der Reiz naturgemäß recht gering, und es ist hier wohl auch mit individuellen Schwankungen zu rechnen. Die Präzision der Unterscheidung der Chiningelatine von der reinen Gelatine steigt mit der steigenden Chininkonzentration.

Die Versuche mit Chinin, einem ausgesprochenen Bitterstoff, erinnern sehr an die Ergebnisse der Versuche mit der bitteren Lupine (s. 1951, p. 491). 10 g Blattbrei der frischen Lupinenblätter wurden im Vergleich mit reiner Gelatine mit —48,8 % abgelehnt. Da die süße Lupine im entsprechenden Versuch mit +27,4 % bevorzugt wurde, mußten die der bitteren Lupine eigenen Bitterstoffe Lupinin, Lupanin und Lupinidin für die Ablehnung verantwortlich gemacht werden. Sie scheinen also für den Regenwurm in ähnlichem Maße unangenehm zu schmecken wie für den Menschen. Ob dabei auch die Empfindungen gleich sind, d. h. ob beide bitter schmecken, ist noch zweifelhaft. Für den Menschen weniger bitter schmeckende Blätter wie z. B. die der Roßkastanie wurden als Blattbreigelatine von den Regenwürmern recht gern ge-

nommen (Maßzahl + 32,8, 1951, p. 456). Dabei ist zu beachten, daß die Chiningelatine, allein geboten, vom Regenwurm ebenfalls gern genommen wird. Wichtig ist wohl auch, daß bei den Blättern der Bitterstoff von anderen Geschmackstoffen begleitet ist; auch ist fraglich, ob alle Bitterstoffe der Blätter vom Regenwurm wahrgenommen werden oder ob für ihn manche geschmacklich leer sind. — Weitere Versuche mit Bitterstoffen werden hier Aufklärung bringen.

Die kurvenmäßige Darstellung der Ergebnisse der Chininversuche hat eine überraschende Gesetzmäßigkeit erwiesen. In der Abb. 1 sind auf der Abszisse die Konzentration des Chinins in Gramm aufgetragen, auf der Ordinate die Einziehprozente der Chininseite und, etwas nach oben verschoben, die Logarithmen der Einziehprozente. Die Kurve verbindet die durch die Einziehprozente gegebenen Werte. Sie liegt, da das Chinin weniger gern als reine Gelatine genommen wird, in ihrem ganzen Verlauf unter der 50 %-Linie, beginnt bei 50 %, fällt in den niederen Konzentrationen steil ab, flacht dann allmählich aus, um sich schließlich mehr und mehr der 0-Linie zu nähern. Ihre jeweiligen Abstände von der Abszisse der 0-Linie geben die Anzahl der Prozente an, mit denen die Chininseite eingezogen wurde, ihr Abstand von der 100 %-Linie die Anzahl der Prozente, mit denen die Chininseite abgelehnt wurde. Die Abstände von der 50 %-Linie entsprechen den halben Prozentdifferenzen (Maßzahlen). — Bestimmt man die Logarithmen der Einziehprozente der Chininseite und trägt sie, als angekreuzte Punkte, in die Abb. 1 ein, so ergibt sich, daß sie ziemlich genau auf einer geraden Linie liegen, die vom Logarithmus des Einziehwertes der 0,01-g-Gelatine (1,650) nach dem Logarithmus des Einziehwertes der 1-g-Gelatine (0,820) abfällt. Dieser Befund zeigt, daß die Kurve eine Exponentialkurve ist. Beim Vergleich mit reiner Gelatine fällt also die Annahme der Chiningelatine durch die Regenwürmer mit steigender Konzentration entlang einer Exponentialkurve ab.

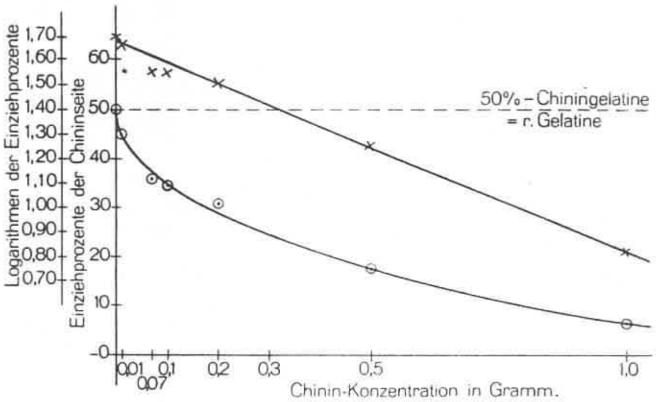

Abb. 1. Graphische Darstellung des Verhaltens des Regenwurms beim Vergleich verschieden stark konzentrierter Chiningelatine mit reiner Gelatine. Auf der Abszisse die Chininkonzentration in Gramm, auf der Ordinate die Einziehprozente der Chininseite und, etwas nach oben verschoben, die Logarithmen der Einziehprozente. — Die Parallele zur Abszisse in Höhe von 50 %, die 50-%-Linie, bezeichnet die Orte gleicher Wertung von reiner Gelatine und Chiningelatine. — Die Kurve verbindet die Punkte der Einziehprozente (im Kreis) der Chininseite, die Gerade die dazugehörigen Logarithmen (Kreuze).

Bei der Deutung dieses Befunds wird man zuerst an das WEBER-FECHNERsche psycho-physische Gesetz denken (HARTMANN, 1947, p. 754 und THILO, 1950, p. 84). Nach ihm ist die Empfindungsstärke proportional dem Logarithmus der Reizstärke. Dies entspricht nicht ohne weiteres den Verhältnissen unserer Kurvendarstellung, denn nach diesen ist die Reizstärke proportional den Logarithmen der Einziehprozente der Chiningelatine. Zeichnet man die Ergebnisse des Versuchs dem WEBER-FECHNERschen Gesetz entsprechend auf, d. h. auf der Ordinate die Einziehprozente der Gelatine oder der Chininseite als Maß für die Empfindung und auf der Abszisse die Logarithmen der Reizintensitäten (g Chinin), so liegen die Werte der 4 niedrigsten Konzentrationen (0,01 — 0,07 — 0,2 — 0,3 g) wohl weitgehend auf einer Geraden, die der zwei höchsten Konzentrationen aber abseits von dieser. Die in dem Gesetz ausgedrückte mathematische Beziehung ist also nach unseren bisherigen Ergebnissen nicht oder günstigenfalls nur für die Konzentrationen bis 0,2 g (0,00056 g/mol) gegeben. Es wird daher notwendig sein, mit weiteren Versuchen der Frage nachzugehen, am besten durch Feststellung der Unterschiedsempfindlichkeit gegen verschieden starke Reize in direktem Vergleich, der ja bei unserer Methode leicht auszuführen ist.

Weiterhin wird man an die in der Biophysik vielfach diskutierte Treffertheorie denken (TIMOFÉEFF-RESSOVSKY und ZIMMER, 1947; LANGENDORFF, 1949, p. 44 ff.). Besonders beachtenswert scheinen mir dabei die Untersuchungen über die Einwirkung von chemischen Agentien auf Bakterien und Sporen. Dabei hat sich ergeben, daß bei konstanter Konzentration die Anzahl der Überlebenden mit der Dauer der Einwirkungszeit entlang einer Exponentialkurve abfällt. Der Absterbevorgang wurde daher als monomolekulare Reaktion aufgefaßt. Diese Deutung wurde aber stark erschüttert durch den Nachweis, daß die Sterbekurve bei konstanter Einwirkungszeit und wechselnder Konzentration keinesfalls eine Exponentialkurve darstellt, so daß offenbar komplizierte Verhältnisse angenommen werden müssen. (ENGELHARD & HOUTERMANS. 1950 und 1951, hier auch Literatur.) — In unserem Fall, d. h. der Geschmacksreaktion des Regenwurms auf Chinin, lieferten dagegen die Einziehprozente der Chininseite bei wechselnder Konzentration und unkontrollierbarer, wohl variabler oder gleicher Einwirkungsdauer eine Exponentialkurve. Nach der Treffertheorie könnte man danach annehmen, daß die Regenwürmer auf das Chinin reagieren, wenn 1 Molekül auf oder in einer Sinneszelle wirksam wird und daß die Wahrscheinlichkeit dieser monomolekularen Wirkung um so größer ist, je größer die Konzentration gewählt wird.

Man wird diese Auffassung nur mit größtem Vorbehalt äußern können, da die Treffertheorie selbst noch sehr umstritten ist. Auch muß hervorgehoben werden, daß wohl die Annahmeprozente der Chiningelatine auf einer Exponentialkurve liegen, aber nicht die Ablehnprozente, wenn sie für sich aufgezeichnet werden. Bei den „Absterbekurven“ der Bakterien und Sporen wurden

aber auch die Überlebenden zugrunde gelegt, so daß dieses mathematische Bedenken vielleicht ohne Bedeutung ist.

Wie die Deutung unseres Befunds durch die Biophysik nach weiteren Experimenten auch ausfallen mag, hat man doch jetzt schon den Eindruck, daß etwas Wichtiges erfaßt worden ist, besonders, wenn man weiß, daß das Verhalten der Regenwürmer gegen Kochsalz eine entsprechende Gesetzmäßigkeit aufweist.

IV. Säuren im Vergleich mit reiner Gelatine.

1. Einführung und Methodisches.

Die ersten Säureversuche wurden mit Salzsäure angestellt, um das Verhalten der Würmer gegenüber einem sauren Geschmackstoff zu prüfen. Zu 100 ccm Wasser wurde ein bestimmtes Quantum (4 ccm, 2 ccm, 1 ccm, 0,6 ccm, 0,2 ccm, 0,08 ccm, 0,04 ccm) konzentrierter Salzsäure (spez. Gew. 1,19; 37,23 %-ig) zugegossen, die Lösung auf 60—80° C erhitzt und dann 20 g Gelatine zugefügt. Die so erhaltene Salzsäuregelatine wurde dann mit reiner Gelatine verglichen. Überraschenderweise ergaben die Versuche nach dem Überschreiten der Reaktionsschwelle mit der steigenden Konzentration eine steigende Ablehnung der Säuregelatine (Tab. 3), während im Hinblick auf die in der freien Natur ja gelegentlich vorkommenden sauren Bodenverhältnisse ein Optimum im Bereich der niedrigen Konzentrationen erwartet wurde.

Um einen genaueren Einblick zu gewinnen, wurden dann Versuche mit weiteren Säuren angestellt, und zwar mit organischen Säuren, die den Würmern aus der freien Natur nicht ganz fremd sein konnten und keinen so starken Dissoziationsgrad aufwiesen wie die Salzsäure (Oxalsäure, Apfelsäure, Zitronensäure, Rechts-Weinsäure, Traubensäure), und ferner Phosphorsäure bzw. Phosphorsäureanhydrid als weiterer anorganischer Säure. Bei allen ergab sich im Gegensatz zur Salzsäure ein Optimum in den niedrigen Konzentrationen und eine ansteigende Ablehnung mit der weiteren Erhöhung der Konzentration. Bei allen diesen Säuren wurden die Konzentrationen isomolekular gewählt. Und zwar wurde hauptsächlich mit den Konzentrationsstufen B, C, D, E gearbeitet, wobei B = 0,0428, C = 0,0171, D = 0,0034 und E = 0,00068 g/mol sind. In der Konzentrationsstufe B wurden also z. B. 0,0428 g/mol Säure in 100 g Wasser und 20 g Gelatine gelöst (Tab. 1).

Die Lösung der Säuren in der Gelatine machte im allgemeinen keine Schwierigkeiten. Die Oxalsäure fiel jedoch, besonders in den höheren Konzentrationen, teilweise wieder aus. Auch sonst sind gelegentlich schwache Niederschläge beobachtet worden (z. B. bei Traubensäure, Konzentrationsstufe C), die vielleicht durch Spuren von Calcium in der Gelatine verursacht wurden. Diese Niederschläge bedingten geringe Konzentrationsschwankungen, die in Rechnung gestellt werden müssen.

In den höheren Konzentrationen mancher Säuren war die Gerinnungsfähigkeit der Gelatine geschwächt, wodurch die Steigerung der Konzentration eine Begrenzung erfuhr.

Beim Menschen bewirken die höheren Säurekonzentrationen neben der sauren Geschmacksempfindung eine mehr oder weniger starke Ätz- oder Brennempfindung und eine Abstumpfung der Zähne. Mit der Brennwirkung ist vielleicht auch bei den Würmern zu rechnen. Bei den meisten Versuchen wurde die Säuregelatine auf Ausfällungen, Gerinnungsfähigkeit und Reizinhalt geprüft. Einzelheiten werden, soweit sie in den Protokollen vermerkt wurden, in der Beschreibung der Versuche mitgeteilt.

2. Salzsäure im Vergleich mit reiner Gelatine (Tab. 3).

Die Versuche mit Salzsäure wurden vom Juni bis September 1926 mit denselben Terrarien und Würmern durchgeführt. Bei ihrem Beginn waren die Würmer schon 3 Monate ununterbrochen benützt worden, und zwar hatten sie vor den HCl-Versuchen mit hohen Konzentrationen von Saccharose gearbeitet. Nach der ersten Versuchsgruppe mit 2 ccm HCl wurde, da die Einziehtätigkeit nicht einwandfrei schien, 40 Tage lang unterbrochen und mit feuchten Blättern gefüttert; darauf folgten ohne Pause die Versuchsgruppen mit 1 ccm, 0,2 ccm, 0.6 ccm, 4 ccm, 0,04 ccm und 0,08 ccm. Die Versuche sollen in derselben Reihenfolge beschrieben werden. Ihre Ergebnisse sind in der Tab. 3 zusammengestellt. Stets wurde mit reiner Gelatine verglichen.

a) 2 ccm Salzsäure im Vergleich mit reiner Gelatine (= 0,8860 g HCl, = 0,0248 g-mol) (3.—10./6. 1926, Prot. 207—210, Tab. 3).

Unmittelbar voraus gingen Versuche mit 115,6 g Saccharose. Die flüssige 2-ccm-HCl-Gelatine schmeckt sehr stark sauer und wirkt etwas brennend. 3 Terrarien standen in Arbeit. Sie zogen mäßig gut ein (Ind. 7,5). Die 7 Tagesversuche hatten folgende Zahlenverhältnisse r. Gel : HCl 26:9, 6:14, 12:8, 17:9, 18:7, 15:2, 12:3. Alle waren klar negativ für HCl, ausgenommen der 2. Versuch, bei dem vielleicht mit einem Versuchs- oder Ablesefehler gerechnet werden muß. Der erste Tagesversuch fiel durch seine starke Einziehtätigkeit auf (Ind. 11,7, Kontrast zu Saccharose?). Von den 21 Terrarienergebnissen waren für HCl 2 positiv, 16 negativ und 3 indifferent; die 2 positiven und 1 indifferenter stammen vom 2. Tagesversuch. Die Gesamtzahl der Einziehungen betrug 158, und zwar 106 für reine Gelatine und 52 für HCl-Gelatine. Daraus errechneten sich das Prozentverhältnis 67,1:32,9, die Differenz der Prozente —34,2, 2 M = 7,5 und $P = 10^{-5}$. — Die 2-ccm-HCl-Gelatine wurde verglichen mit reiner Gelatine klar abgelehnt.

b) 1 ccm Salzsäure im Vergleich mit reiner Gelatine (= 0,4430 g HCl = 0,0124 g-mol) (21.—30./7. 1926, Prot. 212—215, Tab. 3).

Nach 40 Tagen Blattfütterung wurden die HCl-Versuche mit der 1-ccm-Konzentration, mit denselben 3 Terrarien und denselben Würmern fortgesetzt. Die Einziehtätigkeit war im ganzen gut (Ind. 9,2). Die Zahlenergebnisse der 9 Tagesversuche waren 56:8, 17:4, 19:14, 11:8, 17:3, 16:11, 22:3, 13:8, 30:9; alle waren klar negativ für HCl. Der erste Versuch zeigte wieder eine besonders hohe Einziehleistung (Ind. 14,7). Von den 27 Terrarienergebnissen waren 3 positiv, 23 negativ und 1 indifferent für die HCl-Gelatine. Insgesamt wurden 249 Träger eingezogen, und zwar 181 auf der Seite der reinen Gelatine und 68 auf der der HCl-Gelatine. Daraus ergaben sich das Prozentverhältnis 72,7:27,3, die Prozentdifferenz —45,4, 2 M = 5,6 und $P = 10^{-8}$. Die 1-ccm-HCl-Gelatine wurde gegenüber der reinen Gelatine sehr stark abgelehnt.

c) 0,2-ccm Salzsäure im Vergleich mit reiner Gelatine (= 0,0886 g HCl = 0,0025 g-mol) (31./7.—11./8. 1926, Prot. 216—219, Tab. 3).

Die Versuche mit 0,2 ccm HCl schlossen unmittelbar an die vorhergehenden an. Die 3 Terrarien zogen wiederum gut ein (Ind. 10,5). Die 8 Tagesergebnisse waren 11:6, 13:9, 18:11, 14:16, 15:15, 16:11, 32:11, 27:17. 7 waren negativ und 1 indifferent für die HCl-Gelatine. Von den 24 Terrarienergebnissen waren 3 positiv, 20 negativ und 1 indifferent für HCl. Die Gesamtzahl der Einziehungen betrug 252, und zwar 156 für reine Gelatine und 96 für HCl-Gelatine. Daraus errechneten sich das Prozentverhältnis 61,9:38,1, die Prozentdifferenz —23,8, 2M = 6,1 und P = 0,0002. — 0,2-ccm-HCl-Gelatine wurde gegenüber der reinen Gelatine noch deutlich abgelehnt. Für die Versuchsperson waren die beiden Gelatinen in kaltem, erstarrtem Zustand geschmacklich kaum zu unterscheiden.

d) 0,6 ccm Salzsäure im Vergleich mit reiner Gelatine (0,2558 g HCl = 0,0074 g-mol) (12.—19./8. 1926, Prot. 220—222, Tab. 3).

Bei den direkt folgenden Versuchen mit 0,6 ccm Salzsäure zogen die Würmer sehr gut ein (Ind. 14,0). Die 6 Tagesversuche ergaben alle eine Ablehnung der Salzsäuregelatine. Ihre Ergebnisse waren 32:13, 24:22, 30:18, 18:8, 25:6, 24:13. Von den 18 Ergebnissen der Einzelterrarien waren 2 positiv und 16 negativ für die Salzsäuregelatine. Insgesamt wurden 233 Einziehungen festgestellt, davon 153 für reine Gelatine und 80 für die HCl-Gelatine. Das Prozentverhältnis war 65,7:34,3, die Differenz der Prozente —31,4, 2M = 6,2 und $P = 10^{-6}$. — Die 0,6-ccm-HCl-Gelatine wurde gegenüber der reinen Gelatine stark abgelehnt.

e) 4,0 ccm Salzsäure im Vergleich mit reiner Gelatine (= 1,7720 g HCl = 0,0496 g-mol) (20. 8. 1926, Prot. 223, Tab. 3).

Bei den nächsten Versuchen wurde mit 4,0 ccm Salzsäure gearbeitet. Ihre Gelatinelösung wurde langsamer fest als die reine Gelatinelösung und schmeckte sehr stark sauer und brennend. Die 3 Terrarien zogen wiederum sehr gut ein (Ind. 12,0). Nur 1 Tagesversuch wurde durchgeführt. Er ergab mit dem Zahlenverhältnis 36:0 eine vollständige Ablehnung der HCl-Gelatine. Die 3 Terrarienergebnisse waren 8:0, 19:0 und 9:0. Es waren demnach das Prozentverhältnis 100:0, die Differenz der Prozente —100 und 2M = 0. — Die 4 ccm-HCl-Gelatine wurde vollkommen abgelehnt.

f) 0,04 ccm Salzsäure im Vergleich mit reiner Gelatine (= 0,0177 g HCl = 0,0005 g-mol) (23.—31./8. 1926, Prot. 224—227, Tab. 3).

Die 0,04 ccm-HCl-Gelatine, mit der anschließend gearbeitet wurde, war in warmem flüssigem Zustand von der reinen Gelatine geschmacklich nicht mehr zu unterscheiden. Die Würmer der 3 Terrarien zogen wieder sehr gut ein (Ind. 11,5). Die Zahlenverhältnisse der 7 Tagesversuche waren schwankend (15:8, 18:24, 28:17, 22:19, 21:26, 10:12, 9:12), 4 waren positiv und 3 negativ für die HCl-Gelatine. Von den 21 Terrarienresultaten waren 10 positiv, 8 negativ und 3 indifferent. Die Gesamtzahl der Einziehungen betrug 241, und zwar 123 für reine Gelatine und 118 für HCl-Gelatine. Daraus berechneten sich das Prozentverhältnis 51,0:49,0, die Prozentdifferenz —2,0, 2M = 6,4 und P = 0,74. — Die 0,04 ccm-HCl-Gelatine wurde gleich gerne wie reine Gelatine genommen; sie lag unter der Reaktionsschwelle.

g) 0,08 ccm Salzsäure im Vergleich mit reiner Gelatine (= 0,0354 g HCl = 0,0010 g-mol) (1.—9./9. 1926, Prot. 227—230, Tab. 3).

Bei den folgenden Versuchen wurde mit einer etwas höheren Konzentration, nämlich 0,08 ccm HCl, gearbeitet. 7 Tagesversuche wurden bei guter Einziehung (Ind. 10,4) mit denselben 3 Terrarien angestellt. Ihre Zahlenverhältnisse waren 24:16, 15:16, 15:18 14:18, 17:14, 13:12, 13:13. Es waren also 3 positiv, 3 negativ und 1 indifferent für die HCl-Gelatine. Von den 21 Terrarienresultaten waren 7 positiv, 13 negativ und 1 indifferent. Insgesamt wurden 218 Träger eingezogen, und zwar 111 auf der Seite der reinen Gelatine und 107 auf der der HCl-Gelatine. Es waren demnach das Prozentverhältnis 50,9:49,1, die Differenz der Prozente —1,8, 2M = 6,8 und P = 0,74. — Die 0,08-ccm-HCl-Gelatine wurde ebenso gern genommen wie die reine Gelatine Sie lag unter der Reaktionsschwelle.

Tabelle 3. Konzentrierte Salzsäure (spez. Gewicht 1,19) im Vergleich mit reiner Gelatine.

Konz. in ccm	Anzahl der		Eingezogen			%		Diff. d. %	P
	Vers.	Terr.	insges.	r. Gel.	HCl	r. Gel.	HCl		
4	1	3	36	36	0	100	0	—100	
2	7	21	158	106	52	67,1	32,9	—34,2 [1]	10^{-5}
1	9	27	249	181	68	72,7	27,3	— 45,4	10^{-10}
0,6	6	18	233	153	80	65,7	34,3	—31,4	10^{-6}
0,2	8	24	252	156	96	61,9	38,1	—23,8	0,0002
0,08	7	21	218	111	107	50,9	49,1	— 1,8	0,4
0,04	7	21	241	123	118	51,0	49,0	— 2,0	0,74

1) Zu niedrig infolge Gewöhnung (vorausgegangen Saccharoseversuch) oder Versuchsfehler? Nach 2-ccm-Versuch 40 Tage Blattfütterung, dieselben Würmer nun offensichtlich empfindlicher.

h) Übersicht über die Versuche mit Salzsäure: reine Gelatine (Tab. 3, Abb. 2).

HCl-Gelatine wurde in 7 verschiedenen Konzentrationen mit reiner Gelatine verglichen (4 ccm, 2 ccm, 1 ccm, 0,6 ccm, 0,2 ccm, 0,08 ccm und 0,04 ccm). Die beiden niedrigsten Konzentrationen 0,04 und 0,08 ccm wurden gleich gerne genommen wie reine Gelatine; sie lagen also unterhalb der Reaktionsschwelle. Alle höheren wurden abgelehnt, und zwar nach der Reihe —23,8, —31,4, —45,4, —34,2, —100. Die Ablehnung war also um so stärker, je höher die Konzentration gewählt wurde. Von dieser Regel machte nur die 2-ccm-Konzentration eine Ausnahme; ihre Maßzahl (—34,2) lag unter der der 1-ccm-Konzentration. Dies kann durch verschiedene Umstände begründet sein: 1. könnte ein Teil der HCl bei diesem ersten Versuch durch Eingehen einer Verbindung mit der Gelatine als Niederschlag ausgefallen sein, wodurch die Intensität der Säure geschmacklich geringer geworden wäre. Dies ist durchaus möglich, da bei der ersten Versuchsgruppe die Ausfällung wohl beobachtet, die Methode aber erst erarbeitet wurde, nach der diese Ausfällung vor dem Erkalten der HCl-Gelatine vermieden werden konnte (s. S. 511). 2. könnten die Würmer infolge der schon hinter ihnen liegenden langen Versuchsarbeit (s. S. 537) weniger empfindlich geworden sein. Dies ist nicht gerade unwahrscheinlich. 3. könnten die Würmer nach den vorhergehenden langdauernden Saccharoseversuchen beim Anbieten der sehr konzentrierten HCl diese weniger stark abgelehnt haben als in der normalen Versuchsfolge. Dafür spricht, daß der 1. HCl-Tagesversuch eine wesentlich höhere Einziehtätigkeit aufwies (Ind. 11,7) als die nächstfolgenden mit HCl (Ind. 5—8,7), und eine noch viel höhere als bei den unmittelbar vorausgehenden Versuchen mit 115,6 g Saccharose (Ind. 3—4). Eine Entscheidung zwischen den 3 Möglichkeiten läßt sich nicht treffen; vielleicht sind alle an dem abweichenden Ergebnis beteiligt. Es ist bedauerlich, daß die Versuchsgruppe mit der 2-ccm-Konzentration am Ende der ganzen HCl-Serie nicht noch einmal wiederholt wurde. Bei der Gesamtbetrachtung der HCl-Serie muß sie als unzuverlässig weggelassen werden.

Die Reaktionsschwelle liegt wohl beträchtlich unter 0,2 ccm (0,02 mol HCl-Gelatinelösung), denn die Prozentdifferenz betrug bei dieser Konzentration −23,8, und keines der 8 Tagesergebnisse war positiv für die HCl-Gelatine. Da andererseits die Versuche mit 0,08 ccm eine klare Indifferenz ergaben, wird man die Reaktionsschwelle etwa bei der 0,15-ccm-Lösung annehmen können, d. h. etwa bei 0,015 mol. Von der Versuchsperson wurde die 0,2-ccm-HCl-Gelatine von der reinen Gelatine kaum mehr unterschieden. Die Reaktionsschwelle des Regenwurms und die Reizschwelle des Menschen dürften daher in der Gelatinelösung (!) ziemlich gleich sein.

Überraschend war, daß für HCl über der Reaktionsschwelle kein Optimum gefunden wurde, daß vielmehr alle darüber liegenden Konzentrationen abgelehnt wurden. Es ist freilich nicht völlig ausgeschlossen, daß zwischen der 0,08-ccm- und der 0,2-ccm-Lösung noch ein solches liegt. Versuche mit feiner abgestuften Konzentrationen müßten dies erweisen. Die absolute Ablehnung wurde bei 4 ccm ermittelt. Sie könnte aber auch schon bei niedrigeren Konzentrationen erreicht sein.

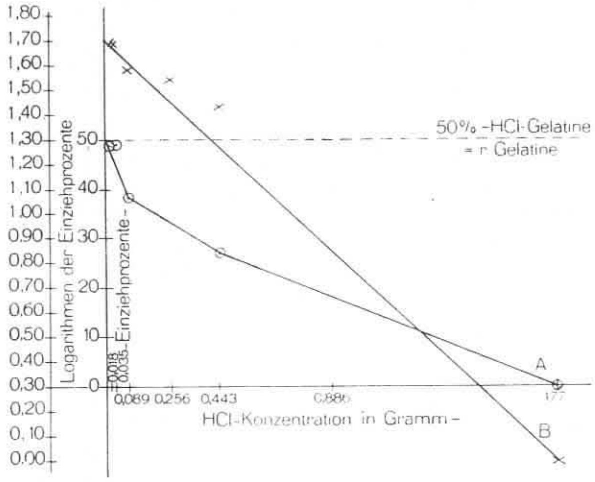

Abb. 2. Graphische Darstellung des Verhaltens des Regenwurms beim Vergleich verschieden stark konzentrierter Salzsäuregelatine mit reiner Gelatine. Auf der Abszisse die Salzsäurekonzentration in Gramm, auf der Ordinate die Einziehprozente der Salzsäuregelatine und, links, die Logarithmen der Einziehprozente. — Die Parallele zur Abszisse in Höhe von 50 %, die 50-%-Linie, bezeichnet die Orte gleicher Wertung von reiner Gelatine und Salzsäuregelatine. — Kurve A verbindet die Punkte (im Kreis) der Einziehprozente der Salzsäureseite, die Gerade B die dazugehörigen Logarithmen (Kreuze). — Das stark abweichende Ergebnis der 0,886-g-Konzentration wurde weggelassen.

Auffallend war auch, daß bei 2 Versuchsgruppen, nämlich bei der 2-ccm- und der 1-ccm-Konzentration, jeweils der 1. Tagesversuch gegenüber den übrigen einen wesentlich höhere Einziehintensität erkennen ließ, was bei beiden Versuchsgruppen auf eine Kontrastempfindung hinweist.

Wie beim Chinin (Abb. 1) wurden die Ergebnisse des Vergleichs der Salzsäuregelatine mit der reinen Gelatine in Kurven dargestellt, dabei wurde die 2-ccm-Konzentration weggelassen. In der Abb. 2 sind auf der Abszisse die Konzentrationen der Salzsäure in Gramm, auf der Ordinate die Einziehprozente der Säuregelatine und die Logarithmen der Einziehprozente aufgetragen. Die Linie A verbindet die durch die Einziehprozente gegebenen Werte; sie entspricht einer Kurve, die in den niedrigen Konzentrationen stark abfällt und dann

flacher verläuft, um bei der 1,77-g-Konzentration die Abszisse, d. h. die 0-Linie zu schneiden. Sie liegt in ihrem ganzen Verlauf unter der 50 %-Linie, da die HCl-Gelatine in allen Konzentrationen weniger gern als die reine Gelatine genommen wurde. Ermittelt man die Logarithmen der Einziehprozente der HCl-Gelatine und trägt sie in die Abbildungen ein, so zeigt sich, daß sie annähernd auf einer Geraden liegen (B). Dies ist freilich nicht so eindeutig wie bei den Chininversuchen, was auch kaum zu erwarten ist, da die Mischung von Salzsäure und Gelatine keine so genauen und konstanten Konzentrationen ergibt wie die Mischung von Chinin und Gelatine. Auch mußte ein für die graphische Darstellung sehr wichtiger Versuch weggelassen werden. Wir können daher nur mit beträchtlichem Vorbehalt schließen, daß beim Vergleich mit reiner Gelatine die Annahme der Salzsäuregelatine mit steigender Konzentration entlang einer Exponentialkurve abfällt (s. dazu die Ausführungen beim Chinin S. 509).

3. Phosphorsäureanhydrid im Vergleich mit reiner Gelatine (Tab. 4).

Mit Phosphorsäureanhydrid (P_2O_5) wurden zuerst Versuche mit den drei Konzentrationen D = 0,24 g, C = 1,22 g und B = 3,04 g angestellt. Zwischen B und C wurden dann noch 3 weitere Konzentrationsstufen eingelegt, nämlich 1,83 g, 2,44 g und 1,53 g. Auf Phosphorsäure (H_3PO_4) umgerechnet entsprechen sie, in derselben Reihenfolge aufgeführt, den Konzentrationen 0,37 g, 1,68 g, 4,2 g, 2,52 g, 3,36 g und 2,1 g. Das trocken erworbene, stark hygroskopische P_2O_5 wurde schnell abgewogen und in heißem Wasser aufgelöst und diesem dann nach Umrühren die Gelatine zugesetzt. Über die Lösungen werden bei der Beschreibung der Versuchsgruppen jeweils nähere Angaben gemacht. Die 6 Versuchsgruppen wurden ohne wesentliche Unterbrechung in einem Zuge durchgeführt, und zwar alle mit den Terrarien 9—16, ausgenommen die vier ersten Tagesversuche der 1. Versuchsgruppe, bei denen die Terrarien 1—8 verwendet wurden. Die Terrarien 9—16 wurden vor Beginn der Phosphorsäureversuche mit je 25 frisch gefangenen Würmern beschickt, waren also in ihrem Bestand aus alten, schon 13 Monate tätigen und frischen Würmern gemischt. In allen Versuchen wurde mit reiner Gelatine verglichen.

a) 0,24 g Phosphorsäureanhydrid im Vergleich mit reiner Gelatine (5.—14. 12. 1932, Prot. 998—1005, Tab. 4).

Nach einer Pause von 4 Tagen wurden die Versuche mit 0,24 g P_2O_5 (entspricht Konz. D und 0,37 g H_3PO_4) zuerst mit den Terrarien 1—8 aufgenommen und dann vom 5. Tagesversuch ab mit den Terrarien 9—16 fortgesetzt. Bei der Herstellung der Phosphorsäuregelatine entstand ein leichter milchiger Niederschlag, der im festen Zustand als grünlich-milchige Flocken in Erscheinung trat (wohl Calciumphosphat, $Ca_3(PO_4)_2$ oder $CaHPO_4$, die in Wasser unlöslich sind?). Die Phosphorsäuregelatine schmeckte im festen Zustand schwach säuerlich und leimig ohne brennende Nebenwirkung. Die 7 Tagesversuche ergaben bei mäßig guter Einziehleistung (Ind. 5,7) schwankende Zahlenverhältnisse (19:32, 18:33, 24:20, 26:18, 22:26, 14:24, 18:25); 5 waren positiv und 2 negativ für Phosphorsäure. Von den Terrarienresultaten waren 29 positiv, 20 negativ nnd 5 indifferent. Die Gesamtzahl der Einziehungen war 320, davon 141 für reine Ge-

latine und 179 für Phosphorsäure. Daraus errechneten sich das Prozentverhältnis 44,1:55,9, die Prozentdifferenz + 11,8, 2 M = 5,6 und P = 0,035. — Die 0,24-g-Phosphorsäureanhydrid-Gelatine wurde der reinen Gelatine noch etwas vorgezogen. Der Ablauf der Versuche mit teilweise starken Bevorzugungen (19:32, 18:33, 14:24) zeigt, daß die Phosphorsäure recht gut wahrgenommen wurde, daß sie aber nur wenig besser gewertet wurde als die reine Gelatine.

b) 1,22 g Phosphorsäureanhydrid im Vergleich mit reiner Gelatine (15.—20./12. 1932, Prot. 1006—1011, Tab. 4).

Die Versuchsgruppe mit 1,22 g Phosphorsäureanhydrid (entspr. Konz. C und 1,68 g H_3PO_4) schloß unmittelbar an die soeben beschriebene an und wurde mit den Terrarien 9—16 durchgeführt. Die feste kalte Phosphorsäuregelatine hatte eine normale Konsistenz und schmeckte angenehm, deutlich sauer, ohne brennende Nebenwirkung. Bei den 5 Tagesversuchen wurde mäßig gut eingezogen (Ind. 7,9). Ihre Zahlenverhältnisse waren recht regelmäßig, nämlich 15:40, 16:46, 26:49, 22:51, 9:41. Alle 5 waren positiv für Phosphorsäure. Von den Terrarienergebnissen waren 34 positiv, 0 negativ und 5 indifferent. Insgesamt wurden 315 Träger eingezogen, und zwar auf der Seite der reinen Gelatine 88 und auf der der Phosphorsäure 227. Daraus ergaben sich das Prozentverhältnis 27,9:72,1, die Prozentdifferenz + 44,2, 2 M = 5,1 und $P = 10^{-10}$. — Die 1,22 g-Phosphorsäureanhydrid-Gelatine wurde der reinen Gelatine recht stark vorgezogen.

c) 3,04 g Phosphorsäureanhydrid im Vergleich mit reiner Gelatine (22.—28./12. 1932, Prot. 1012—1015, Tab. 4).

Die 3,04-g-P_2O_5-Konzentration entspricht der Konzentration B und der von 4,02 g H_3PO_4. Ihre Gelatinelösung hatte in kaltem festem Zustand normale Konsistenz und schmeckte stark sauer mit keiner bzw. geringer Brennwirkung. Sie stumpfte die Zähne ab und war für die Versuchsperson mäßig unangenehm. Die Versuche wurden unmittelbar anschließend an die soeben beschriebenen und mit denselben Würmern ausgeführt. Bei den 3 Tagesversuchen wurde mäßig gut eingezogen (Ind. 7,4). Sie verliefen sehr regelmäßig und waren alle sehr stark negativ für Phosphorsäure (55:7, 53:9, 49:4). Von den Terrarienergebnissen waren 22 negativ und 2 indifferent für Phosphorsäure. Bei insgesamt 177 Einziehungen war das Zahlenverhältnis 157:20, und es waren damit das Prozentverhältnis 88,7:11,3, die Prozentdifferenz — 77,4, 2 M = 4,8 und $P = 10^{-10}$. — Die 3,04-g-Phosphorsäureanhydrid-Gelatine wurde im Vergleich mit reiner Gelatine sehr stark abgelehnt.

d) 1,83 g Phosphorsäureanhydrid im Vergleich mit reiner Gelatine (29./12. 1932—5./1. 1933, Prot. 1016—1021, Tab. 4).

1,83 g P_2O_5 entsprechen 2,52 g H_3PO_4. In der üblichen Weise in Gelatine gelöst, entstand eine Gelatine normaler Konsistenz mit stark saurem Geschmack. Sie wirkte eine Spur brennend und die Zähne abstumpfend. Den Versuchen ging eine Pause von 6 Tagen voraus. Die Terrarien 9—16 zogen mäßig gut ein (Ind. 6,9). Die 5 Tagesversuche ergaben die Zahlenverhältnisse 20:19, 35:24, 28:24, 22:17, 57:30. Alle waren negativ, besonders das letzte. Die Einzelterrarien hatten 9 positive, 27 negative und 4 indifferente Ergebnisse. Die Gesamtzahl der Einziehungen war 276, davon 162 für reine Gelatine und 114 für Phosphorsäure. Es waren demnach das Prozentverhältnis 41,3:58,7, die Prozentdifferenz — 17,4, 2 M = 5,9 und P = 0,004. — Die 1,83 g-Phosphorsäureanhydrid-Gelatine wurde im Vergleich mit reiner Gelatine deutlich abgelehnt.

e) 2,44 g Phosphorsäureanhydrid im Vergleich mit reiner Gelatine (6.—10. 1. 1933, Prot. 1022—1025, Tab. 4).

2,44 g P_2O_5 entsprechen 3,36 g H_3PO_4. Über die Konsistenz und den Geschmack der Gelatinelösung fehlen besondere Angaben. Die Versuche schlossen unmittelbar an die oben unter d berichteten mit 1,83 g an. Dieselben Terrarien (9—16) zeigten starke Einziehtätigkeit (Ind. 10,8). 3 Tagesversuche wurden angestellt. Ihre Ergebnisse waren sehr ähnlich und sehr stark negativ für Phosphorsäure (81:6, 81:13, 69:10). 23 Terrarienresultate waren negativ und 1 indifferent. 260 Träger wurden insgesamt eingezogen, 231 auf der Seite der reinen Gelatine und 29 auf der der Phosphorsäure. Daraus berechneten sich das Prozentverhältnis 88,8:11,2, die Differenz der Prozente — 77,6, 2 M = 3,9 und $P = 10^{-10}$. — Die 2,44 g-Phosphorsäureanhydrid-Gelatine wurde, verglichen mit reiner Gelatine, sehr stark abgelehnt.

f) 1,53 g Phosphorsäureanhydrid im Vergleich mit reiner Gelatine (11.—20./1. 1933, Prot. 1026—1033, Tab. 4).

Die Gelatinelösung von 1,53 g P_2O_5 (entspricht 2,1 g H_3PO_4) hat im kalten Zustand normale Konsistenz und angenehm sauren Gescmack ohne ätzende Nebenwirkung. Den Versuchen unmittelbar voraus gingen mit denselben Terrarien (9—16) die oben unter e berichteten. Es wurde gut eingezogen (Ind. 9,4). Die 8 Tagesversuche ergaben die Zahlenverhältnisse 59:22, 41:25, 44:35, — 34:37, 25:28, 25:29, 55:38, 51:53. 4 waren sehr schwach positiv und 4 stark negativ. Auch bei den Terrarienergebnissen überwogen die negativen Verhältnisse; es waren nämlich 24 positiv, 37 negativ und 4 indifferent. Die Gesamtzahl der Einziehungen betrug 601, und zwar im Verhältnis 334:267. Daraus ergaben sich das Prozentverhältnis 55,6:44,4, die Prozentdifferenz — 11,2, 2 M = 4,1 und P = 0,006. — Die 1,53 g-Phosphorsäureanhydrid-Gelatine wurde im Vergleich mit reiner Gelatine deutlich abgelehnt.

Die Zahlenverhältnisse der Tagesversuche waren in dieser Versuchsgruppe auffallend schwankend. Die ersten 3 Versuche zeigten eine starke Ablehnung. Rechnet man sie für sich zusammen, so erhält man bei einer Gesamtzahl der Einziehungen von 226 das Prozentverhältnis 63,7:36,3, und die Prozentdifferenz —27,4, also eine starke Ablehnung. — Rechnet man außerdem die übrigen 5 Tagesversuche zusammen, so bekommt man bei insgesamt 375 Einziehungen das Prozentverhältnis 50,7:49,3 und die Prozentdifferenz —1,4. — Die Würmer haben also sich zuerst stark ablehnend und dann indifferent verhalten. Man ist geneigt anzunehmen, daß sie sich an die gebotene Phosphorsäure-Konzentration während der ersten 4 Tage des Versuches gewöhnt haben. Gegen diese Auffassung spricht aber, daß auch der 7. Tagesversuch stark ablehnend ausgefallen ist. Jedenfalls zeigt aber der Verlauf des Versuchs, daß die 1,53-g-Phosphorsäureanhydrid-Gelatine sehr gut von der reinen Gelatine unterschieden wird, daß sie jedoch beim Vergleich mit dieser nahe am Übergang von der Bevorzugung zur Ablehnung liegt.

Tabelle 4. Versuche mit Phosphorsäureanhydrid (P_2O_5) im Vergleich mit reiner Gelatine. B, C, D, Konzentrationstufen isomolekular zu den entsprechenden anderer Stoffe.

Konz. in g	Anzahl der		Eingezogen			%		Diff. d. %	P
	Vers.	Terr.	insges.	r. Gel.	Phosph.-säure	r. Gel.	Phosph.-säure		
B 3,04	3	24	177	157	20	88,7	11,3	—77,4	10^{-10}
2,44	3	24	260	231	29	88.8	11,2	—77,6	10^{-10}
1,83	5	40	276	162	114	58,7	41,3	—17,4	0,004
1,53	8	64	601	334	267	55,6	44,4	—11,2[1])	0,006
C 1,22	5	40	315	88	227	27,9	72,1	+44,2	10^{-10}
D 0,24	7	56	320	141	179	44,1	55,9	+11,8	0,035

1) Stark schwankend, 3 erste Tagesversuche stark ablehnend (—27,4), die 5 weiteren indifferent (—1,4).

g) Übersicht über die Versuche Phosphorsäureanhydrid: reine Gelatine (Tab. 4).

Wenn wir die Ergebnisse der 6 Versuchsgruppen mit Phosphorsäure auf der Tab. 4 betrachten, so finden wir von der niedrigsten bis zur höchsten Konzentration ansteigend die Maßzahlen (Prozentdifferenzen) + 11,8, + 44,2, — 11,2, — 17,4, — 77,6, — 77,4. Im Vergleich mit reiner Gelatine wird also die niedrigste Konzentration noch leicht bevorzugt. Die Reaktionsschwelle liegt also deutlich unter der 0,24-g-Lösung, d. h. unter einer 0,03-mol-P_2O_5-Gelatinelösung. Die Bevorzugung steigt bei 1,22 g auf die Maßzahl + 44,2 an, um bis 1,53 g wieder auf — 11,2, d. h. auf eine leichte Ablehnung zu fallen. Es ist ein Optimum vorhanden, das wahrscheinlich ungefähr bei 1 g liegt. Da die Versuchsgruppe mit 1,53 g recht schwankend verlaufen ist (s. oben, Maßzahlen — 1,4 und — 27,4), können wir annehmen, daß die vom Optimum her

abfallende Kurve wenig unter 1,53 g die Gelatine-Linie (50 %-Linie) schneidet, um dann über die Maßzahl —17,4 (Konz. 1,83 g) schnell nach —77,6 (Konz. 2,44 g) abzufallen. Die nächsthöhere Konzentration (3,04 g) ergab dasselbe Ausmaß der Ablehnung.

Die Versuche verliefen im allgemeinen auffallend regelmäßig. Nur die Versuchsgruppe mit 1,53 g zeigte Schwankungen, die an eine Gewöhnung der Würmer an die Phosphorsäure denken lassen. Weitere Betrachtungen siehe S. 538.

4. Oxalsäure im Vergleich mit reiner Gelatine (Tab. 5).

Die Versuche mit Oxalsäure wurden mit 3 Konzentrationen, nämlich C = 2,15 g, D = 0,43 g und E = 0,08 g ausgeführt. Verwendet wurden 16 Terrarien, von denen jeweils 8 ca. 8 Tage in Arbeit standen, während die anderen acht intensiv mit Blättern gefüttert wurden. — Die Oxalsäure fiel in der Gelatine z. T. wieder aus, so daß die Säuregelatine im flüssigen Zustand je nach der Konzentration eine mehr oder weniger milchig trübe Flüssigkeit bildete. Da beim Überziehen der Träger stets sorgfältig umgerührt und so eine gleichmäßige Verteilung der Säurekriställchen in der Gelatine angestrebt wurde, ist anzunehmen, daß die Suspensionen ungefähr dieselben Geschmacksverhältnisse aufwiesen, wie die entsprechenden Lösungen. Mit der Konzentrationsstufe B konnte nicht mehr gearbeitet werden, da die Gelatine nicht mehr erstarrte. Stets wurde mit reiner Gelatine verglichen.

Außer diesen Versuchen wurde die Oxalsäure noch in Verbindung mit Kochsalz, Chinin und Saccharin zur Prüfung kombinierter Geschmäcke verwendet. Über diese wird besonders berichtet werden.

a) 2,15 g Oxalsäure im Vergleich mit reiner Gelatine (Tab. 5).

Die Versuche mit 2,15 g Oxalsäure wurden in 3 zeitlich geschiedenen, unabhängig voneinander stehenden Versuchsgruppen (a_1, a_2, a_3) ausgeführt. Alle 3 standen im Zusammenhang mit Versuchen zur Prüfung von Geschmackskombinationen. Die Oxalsäure schmeckte in lauwarmen, flüssigem Zustand sehr stark sauer und wirkte etwas brennend. Im kalten und festen Zustand war ihr Geschmack angenehm, weniger stark aber doch noch beträchtlich sauer mit schwacher brennender Nebenwirkung. Die Zähne fühlten sich stumpf an. — Ich beschreibe zuerst die 3 Versuchsgruppen und ziehe dann ihre Resultate zusammen.

a_1) Die Versuchsgruppe a_1 (16.—23./3. 1932, Prot. 820—826) folgte unmittelbar auf Versuche mit Kochsalz + Saccharin, die im Vergleich mit reiner Gelatine eine starke Ablehnung erfahren hatten. Im Versuch standen dieselben 8 Terrarien (9—16). Die Würmer zogen nur mäßig gut ein (Ind. 5,6). 6 Tagesversuche wurden durchgeführt. Ihre Zahlenergebnisse waren 35:12, 18:28, 17:20, 22:26, 20:21, 22:27. Der erste Versuch war stark negativ für Oxalsäure, die übrigen 5 schwach positiv. Von den Terrarienergebnissen waren 19 positiv, 19 negativ und 1 indifferent. Die Gesamtzahl der Einziehungen betrug 268, und zwar 134 für reine Gelatine und 134 für Oxalsäure-Gelatine. Darnach waren das Prozentverhältnis 50:50, die Prozentdifferenz 0 und 2 M = 6,1.

Der Schluß, daß die 2,15-g-Oxalsäure-Gelatine mit der reinen Gelatine gleich gewertet worden sei, stößt hier auf Bedenken, da der erste Tagesversuch mit seiner starken Ablehnung der Oxalsäure sich so stark von den übrigen, ziemlich gleichartig verlaufenden absetzt. Anscheinend war das Verhalten der Würmer beim ersten Zusammentreffen mit der Oxalsäure ablehnend, um dann eine leichte Bevorzugung derselben zu zeigen. Diese letztere wird deutlich, wenn man den ersten Tagesversuch nicht mitrechnet. Man erhält dann die Gesamtzahl der Einziehungen 221, das Zahlenverhältnis 99:122, das Prozentverhältnis 44,8:55,2, die Differenz der Prozente + 10,4 und 2 M 6,6. — Da die Prozentdifferenz nicht unbedeutend über 2 M liegt,

können wir auf eine leichte Bevorzugung der Oxalsäure-Gelatine vor der reinen Gelatine schließen. — Jedenfalls zeigen die Versuche, daß die 2,15-g-Oxalsäure-Gelatine wahrgenommen wird. Doch war das Verhalten der Würmer schwankend. Die starke Ablehnung im ersten Tagesversuch ist vielleicht auf eine Kontrastwirkung der neu gebotenen Oxalsäure zurückzuführen.

a_2) Die Versuchsgruppe a_2 (14.—19. 4. 1932, Prot. 841—844 a) folgte drei Wochen später mit denselben Terrarien (9—16) und denselben Würmern. Vorausgegangen waren Versuche mit Chinin + Oxalsäure, deren Kombination mit der reinen Gelatine gleich gewertet worden war. (Prozentdifferenz + 2,6). Die 4 Tagesversuche verliefen bei mäßiger Einziehleistung (Ind. 5,1) recht gleichartig; alle zeigten eine deutliche Bevorzugung der Oxalsäure (12:27, 17:28, 16:38, 9:17). Ein entsprechendes Bild boten auch die Einzelterrarien, von denen 22 positiv, 4 negativ und 3 indifferent für Oxalsäure waren. Insgesamt wurden eingezogen 164, davon 54 auf der Seite der reinen Gelatine und 110 auf der der Oxalsäure. Darnach berechneten sich das Prozentverhältnis 32,9:67,1, die Prozentdifferenz + 34,2, 2 M = 7,3 und $P = 10^{-6}$. — In dieser Versuchsgruppe wurde die 2,15-g-Oxalsäure-Gelatine der reinen Gelatine stark vorgezogen.

a_3) Die Versuchsgruppe a_3 (19./7.—3./8. 1932, Prot. 910—919) wurde rund 3 Monate nach a_2 durchgeführt. Von den 9 Tagesversuchen bearbeiteten die ersten 4 die Würmer der Terrarien 9—16, die 5 letzten die der Terrarien 1—8. Vorausgegangen war Fütterung mit Blättern bzw. Versuche mit Saccharin, das stark abgelehnt worden war (— 34,9). Die 9 Tagesversuche zeigten bei deutlicher Neigung zur Bevorzugung der Oxalsäure ein ziemlich schwankendes Verhalten. Ihre Zahlenverhältnisse waren 31:27, 30:31, 21:37, 16:31, 27:27, 18:31, 17:29, 8:42, 23:34. Es waren also 7 positiv, 1 negativ und 1 indifferent für Oxalsäure. Von den Terrarienergebnissen waren 47 positiv, 16 negativ und 8 indifferent. Die Gesamtzahl der Einziehungen betrug 480, davon 191 für reine Gelatine und 289 für Oxalsäure-Gelatine. Es waren demnach das Prozentverhältnis 39,8:60,2, die Prozentdifferenz + 20,4, 2 M = 4,5 und $P = 10^{-5}$. — Die 2,15-g-Oxalsäure-Gelatine wurde in dieser Versuchsgruppe deutlich vorgezogen.

Die 3 Versuchsgruppen ergaben bei offensichtlicher Bevorzugung der Oxalsäure-Gelatine vor der reinen Gelatine recht verschiedene Werte. Die erste die Prozentdifferenz 0 bzw. + 10,4, die zweite + 34,2 und die dritte + 20,4. Es ist nicht wahrscheinlich, daß die Ursachen für diese verschiedenen Resultate in der Verschiedenheit der Säurekonzentration in der Gelatine infolge des Ausfallens der Oxalsäure oder der amphoteren Wirkung der Gelatine liegen. Sie dürfen vielmehr bei den Würmern selbst zu finden sein. Möglich ist dabei eine Verschiedenheit der allgemeinen Disposition oder eine solche im Zusammenhang mit den unmittelbar vorausgegangenen Versuchen.

Die Verschiedenheit der allgemeinen Disposition gegenüber der in der Natur häufig vorkommenden Oxalsäure ist durchaus möglich, läßt sich aber bis jetzt nicht durch besondere Beobachtungen stützen. Für die Annahme einer speziellen Dispositionsänderung im Zusammenhang mit den vorausgegangenen Versuchen ergeben sich folgende Anhaltspunkte. Der ersten Versuchsgruppe gingen Versuche mit Kochsalz + Saccharin voraus, die stark abgelehnt wurden (— 48,6). Dabei wurde die Oxalsäure den Würmern zum erstenmal geboten. Das Ergebnis war zuerst eine deutliche Ablehnung, und dann eine schwache Bevorzugung. Der zweiten Versuchsgruppe waren Versuche mit Chinin + Oxalsäure vorangegangen, gegen die sich die Würmer indifferent verhielten (+ 2,6). Die anschließend rein dargebotene Oxalsäure wurde nun der Gelatine stark vorgezogen (+ 34,2). In der dritten Versuchsgruppe war mindestens bei der Mehrzahl der Terrarien eine Blattfütterung vorausgegangen; die Oxalsäure wurde daraufhin mäßig, aber klar bevorzugt, und das Ergebnis liegt zwischen den beiden extremen Resultaten der ersten zwei Versuchsgruppen.

Wenn man die Ergebnisse der drei Versuchsgruppen zusammenzieht, bekommt man ein Mittelmaß für das Verhalten der Würmer gegenüber der 2,15-g-Oxalsäure (Tab. 5). Die Gesamtzahl der Einziehungen beträgt dann 912, davon für reine Gelatine 379, für Oxalsäure 533. Es ergeben sich weiterhin das Prozentverhältnis 41,6:58,4, die Prozentdifferenz + 16,8, 2 M = 3,3 und $P = 10^{-7}$. — Bei schwankendem Verhalten gegenüber der 2,15-g-Oxalsäure-Gelatine beträgt also die mittlere Maßzahl im Vergleich mit reiner Gelatine + 16,8.

b) 0,43 g Oxalsäure im Vergleich mit reiner Gelatine (15.—25. 8. 1932, Prot. 920—927, Tab. 5).

Die infolge leichter Ausfällungen milchige Flüssigkeit der 0,43-g-Oxalsäure-Gelatine erstarrte gut. Im kalten Zustand schmeckte sie angenehm, und zwar zuerst sauer und dann leimig ohne brennenden Nebenreiz. Die in Arbeit befindlichen Würmer (Terr. 9—16) waren vorher mit Blättern gefüttert worden. Sie zogen bei allmählich abfallender Leistung nur mäßig gut ein (Ind. 5,6). Die 8 Tagesversuche hatten etwas schwankende Ergebnisse (21:33, 23:28, 20:32, 24:24, 25:14, 16:22, 21:15, 14:24). 5 waren positiv, 2 negativ und 1 indifferent für Oxalsäure.

Von den Terrarienergebnissen waren entsprechend 28 positiv, 18 negativ und 14 indifferent. Insgesamt wurden 356 Träger eingezogen, davon 164 auf der Seite der reinen Gelatine und 192 auf der der Oxalsäure-Gelatine. Das Prozentverhältnis war 46,1 : 53,9, die Prozentdifferenz +7,8, 2 M = 5,3 und P = 0,14. — Mit 86% Wahrscheinlichkeit besteht also eine schwache Bevorzugung der Oxalsäure-Gelatine vor der reinen Gelatine. Dafür sprechen auch die Tages- und Terrarienergebnisse.

c) 0,08 g Oxalsäure im Vergleich mit reiner Gelatine (26./8.—6./9. 1932, Prot. 930—938, Tab. 5).

Auch in dieser niedrigen Konzentration von 0,08 g war ein geringer Niederschlag in der flüssigen Oxalsäure-Gelatine festzustellen. Im kalten Zustand war der Leimgeschmack vorherrschend und bei längerem Schmecken noch ein saurer Nachgeschmack spürbar. Die Versuche schlossen unmittelbar an die soeben beschriebenen mit 0,43 g Oxalsäure an. Die beiden ersten Tagesversuche wurden mit denselben Terrarien (9—16), die 6 weiteren mit blattgefütterten Würmern (Terrarien 1—8) durchgeführt. Die Einziehtätigkeit war mäßig (Ind. 4,1). Die Zahlenergebnisse der Tagesversuche waren 20 : 17, 16 : 12, 11 : 15, 28 : 14, 15 : 11, 12 : 18, 22 : 24, 13 : 12; 3 Tagesversuche waren positiv und 5 negativ für Oxalsäure. Von den Terrarienresultaten waren 24 positiv, 24 negativ und 13 indifferent. Die Gesamtzahl der Einziehungen betrug 260, und zwar 137 für reine Gelatine und 123 für Oxalsäure-Gelatine. Daraus errechneten sich das Prozentverhältnis 52,7 : 47,3, die Prozentdifferenz —5,4, 2 M = 6,2 und P = 0,38. — Die 0,08-g-Oxalsäure-Gelatine wurde reiner Gelatine gleich gewertet. Für die Annahme einer schwachen Ablehnung ergaben die Versuche keinen Anhaltspunkt.

Tabelle 5. Oxalsäure im Vergleich mit reiner Gelatine. Isomolekulare Konzentrationen zu anderen Versuchen.

Konz. in g	Anzahl der		Eingezogen			%		Diff. d. %	P
	Vers.	Terr.	insges.	r. Gel.	Oxalsäure	r. Gel.	Oxalsäure		
C 2,15	19	152	912	379	533	41,6	58,4	+16,8[1])	10^{-7}
D 0,43	8	64	356	164	192	46,1	53,9	+ 7.8	0,14
E 0,08	8	64	260	137	123	52,7	47,3	— 5,4	0,38

1) Versuche mit 2,15 g in 3 Versuchsgruppen zu verschiedenen Zeiten und mit verschiedenen Resultaten (Prozentdifferenzen +0, +34,2, +20,4). Bei der ersten Versuchsgruppe ist der erste Tagesversuch stark ablehnend.

d) Übersicht über die Versuche Oxalsäure : reine Gelatine (Tab. 5).

Die Versuche mit Oxalsäure wurden nur in 3 Konzentrationen (0,08 g, 0,43 g und 2,15 g) mit reiner Gelatine verglichen. Die niedrigste (0,08 g) wurde der Gelatine gleich gewertet (— 5,4), die nächst höhere (0,43 g) mäßig vorgezogen (+ 7,8) und die höchste (2,15 g) deutlich bevorzugt. Eine Ablehnung war auch bei den hohen Konzentrationen, die für den Menschen im warmen flüssigen Zustand sehr stark sauer schmeckten und eine schwache Brennempfindung auslösten, im kalten festen Zustand allerdings nur stark sauer und ohne Brennwirkung sind, nicht festzustellen. Die Oxalsäure ist also für die Regenwürmer angenehm. Sie unterscheidet sich hier wesentlich von der Salzsäure, die in allen Konzentrationen über der Reaktionsschwelle abgelehnt wurde. Die Reaktionsschwelle für Oxalsäure läßt sich nicht genau angeben; sie dürfte aber unter der 0,43-g-Konzentration, d. h. unter einer 0,03-mol-Oxalsäure-Gelatinelösung liegen.

Bei der Konzentration 2,15 g, mit der 3 Versuchsgruppen durchgeführt wurden, ergab sich eine beträchtliche Schwankung der Ergebnisse (Maßzahlen: 0. bzw. + 10,4, + 34,1 und + 20,4). Sie wird hauptsächlich auf den Einfluß der vorangegangenen Versuche zurückgeführt; eine Annahme, die auch durch den Befund unterstützt wurde, daß bei der 1. Versuchsgruppe der 1. Versuch durch seine Ablehnung der Oxalsäure von den übrigen schwach positiven abwich. Es ist allerdings auch nicht ausgeschlossen, daß infolge des Ausfallens (Ca-oxalat) bzw. der nicht vollständigen Auflösung der Oxalsäure Schwankungen in der Konzentration der Säure-Gelatine aufgetreten sind. Auch muß damit gerechnet werden, daß die Erstarrung der Gelatine bei den verschiedenen Versuchen nicht gleichmäßig gewesen ist. Weitere Betrachtungen s. S. 536.

5. Apfelsäure im Vergleich reiner Gelatine (Tab. 6).

Mit Apfelsäure wurde in 4 Konzentrationsstufen gearbeitet, und zwar mit D = 0,46 g, C = 2,29 g, B = 5,73 g und E = 0,09 g. Die Versuche mit den erstgenannten 3 Konzentrationen folgten unmitelbar aufeinander, die mit der letztgenannten im Abstand von 5 Wochen. 2 Serien von je 8 Terrarien standen in Benützung. Die Lösung der Apfelsäure in Gelatine machte keine Schwierigkeiten und veränderte auch die Gerinnungsfähigkeit nicht wesentlich. Bei der Berechnung der Konzentrationen wurde kein Kristallwasser berücksichtigt. Stets wurde wieder mit reiner Gelatine verglichen.

a) 0.46 g Apfelsäure im Vergleich mit reiner Gelatine (12.—21./9. 1932, Prot. 940—946, Tab. 6).

Die Versuche mit 0,46 g Apfelsäure folgten unmittelbar auf solche mit 0,08 g Oxalsäure. In beiden arbeiteten die Terrarien 1—8. Die kalte 0,46-g-Apfelsäure-Gelatine zeigte einen normalen physikalischen Zustand. Ihr Geschmack war angenehm, und zwar zu Beginn der Probe schwach leimig, dann deutlich schwach sauer. 6 Tagesversuche wurden bei mäßiger Einziehtätigkeit (Ind. 4,7) durchgeführt. Sie zeigten die Zahlenverhältnisse reine Gelatine: Apfelsäure-Gelatine = 16:15, 1:28, 7:30, 13:28, 12:28, 12:36, und waren anfangs recht schwankend. Der erste Versuch war nämlich schwach ablehnend bzw. indifferent, und die beiden nächsten sehr stark bevorzugend. Die letzten 3 Versuche zeigten mit sehr ähnlichen Zahlenverhältnissen offenbar eine Stabilisierung des Verhaltens. 5 waren positiv und 1 negativ für Apfelsäure. Von den Terrarienresultaten waren 38 positiv, 4 negativ und 3 indifferent. Die Gesamtzahl der Einziehungen betrug 226, davon 61 für reine Gelatine und 165 für Apfelsäure. Daraus errechneten sich das Prozentverhältnis 27,0:73,0, die Prozentdifferenz + 46,0, 2 M = 5,9 und $P = 10^{-10}$. — Die 0,46-g-Apfelsäure-Gelatine wurde der reinen Gelatine sehr stark vorgezogen.

b) 2.29 g Apfelsäure im Vergleich mit reiner Gelatine (22. 9.—5./10. 1932, Prot. 947—956, Tab. 6).

Bei den anschließenden Versuchen mit 2,29 g Apfelsäure wurden die aus der Blattfütterung abgesetzten Terrarien 9—16 verwendet. Sie zogen nur schwach ein (Ind. 3,6). Die kalte, 2,29-g-Apfelsäure-Gelatine schmeckte im ganzen angenehm und zwar stark bis sehr stark sauer. Eine ätzende Begleitempfindung war kaum vorhanden. 9 Tagesversuche wurden angestellt. Ihre Zahlenverhältnisse waren reine Gelatine : Apfelsäure-Gelatine 4:14, 11:20, 14:18, 12:15, 13:13, 12:13, 10:13, 18:29, 12:20. Es waren also 8 positiv und 1 indifferent für Apfelsäure. Die Terrarienergebnisse zeigten etwas mehr Schwankungen; 38 waren nämlich positiv, 20 negativ und 10 indifferent. Insgesamt wurden 261 Träger im Verhältnis 106:155 eingezogen. Darnach waren das Prozentverhältnis 40,6:59,4, die Prozentdifferenz + 18,8, 2 M = 6,1 und P = 0,003. — Die 2,29-g-Apfelsäure-Gelatine wurde der reinen Gelatine deutlich vorgezogen.

c) 5,73 g Apfelsäure im Vergleich mit reiner Gelatine (7.—14./10. 1932, Prot. 957—962. Tab. 6).

Mit denselben Terrarien (9—16) wie in den soeben geschilderten Versuchen wurde die unmittelbar anschließende Versuchsgruppe mit 5,73 g Apfelsäure durchgeführt. Es wurde schlecht eingezogen (Ind. 2,9). Die Apfelsäure-Gelatine schmeckte etwas unangenehm und sehr stark sauer, aber kaum ätzend. Ihre Konsistenz war normal. 5 Tagesversuche gaben ein sehr einwandfreies Resultat (32 : 1, 26 : 2, 25 : 1, 14 : 0, 15 : 1). In allen wurde die Apfelsäure-Gelatine nahezu vollkommen abgelehnt. Von den Terrarienergebnissen waren 30 negativ, 0 positiv und 1 indifferent. Im gesamten wurden 117 Träger eingezogen, und zwar 112 auf der Seite der reinen Gelatine und 5 auf der der Apfelsäure. Daraus berechneten sich das Prozentverhältnis 95,7 : 4,3, die Prozentdifferenz —91,4, 2 M = 3,7 und P = 10^{-10}. — Die 5,73-g-Apfelsäure-Gelatine wurde im Vergleich mit reiner Gelatine nahezu vollkommen abgelehnt.

d) 0,09 g Apfelsäure im Vergleich mit reiner Gelatine (23./11.—2./12. 1932, Prot. 988—996, Tab. 6).

In der letzten, ca. 5 Wochen später ausgeführten Versuchsgruppe wurde 0,09 g Apfelsäure mit reiner Gelatine verglichen. In Arbeit standen die Terrarien 1—8, die auch die unmittelbar vorausgehenden Versuche mit 0,14 g Zitronensäure (Proz. diff +3,54) bearbeitet hatten. Sie zogen mäßig gut ein (Ind. 6,6). Die kalte Apfelsäure-Gelatine dieser Konzentration hatte normale Konsistenz und schmeckte vorherrschend schwach leimig, dabei aber vielleicht eine Spur säuerlich, lag also für den Menschen in bzw. schon unter der Reizschwelle. 8 Tagesversuche ergaben die Zahlenverhältnisse 30 : 32, 26 : 28, 25 : 36, 30 : 21, 18 : 29, 22 : 19, 28 : 22, 30 : 25. Sie zeigten das typische Bild für ein indifferentes Verhalten der Würmer. 4 waren positiv und 4 negativ für Apfelsäure. Von den Terrarienergebnissen waren 25 positiv, 28 negativ und 10 indifferent. Von insgesamt 421 Einziehungen lagen 209 auf der Seite der reinen Gelatine, 212 auf der der Apfelsäure. Dies ergab das Prozentverhältnis 49,6 : 50,4, die Prozentdifferenz + 0,8, 2 M = 4,9 und P = 0,85. — Die 0,09-g-Apfelsäure-Gelatine wurde der reinen Gelatine gleich gewertet.

Tabelle 6. Apfelsäure im Vergleich mit reiner Gelatine. B—E Konzentrationsstufen isomolekular zu den entsprechender anderer Stoffe.

Konz. in g	Anzahl der Vers.	Anzahl der Terr.	Eingezogen insges.	Eingezogen r. Gel.	Eingezogen Apfelsäure	% r. Gel.	% Apfelsäure	Diff. d. %	P
B 5,73	5	40	117	112	5	95,7	4,3	—91,4	10^{-10}
C 2,29	9	72	261	106	155	40,6	59,4	+18,8	0,003
D 0,46	6	48	226	61	165	27,0	73,0	+46,0	10^{-10}
E 0,09	8	64	421	209	212	49,6	50,4	+ 0,8	0,85

e) Übersicht über die Versuche Apfelsäure : reine Gelatine (Tab. 6).

Bei den Versuchen mit Apfelsäure ergab sich ein Bild, wie es eigentlich unseren Erwartungen entsprach. Die niedrigste Konzentration 0,09 g wurde der reinen Gelatine gleich gewertet, lag also unter der Reaktionsschwelle und vielleicht auch unter der Reizschwelle; die nächsthöhere von 0,46 g wurde stark bevorzugt (+ 46,0). In ihrem Bereich liegt also ein Optimum. Die nächsthöhere erprobte Konzentration von 2,29 g ergab ebenfalls noch eine Bevorzugung der Apfelsäure (+ 18,8); sie war aber wesentlich geringer, und bei der höchst geprüften Konzentration von 5,73 g ergab sich schließlich eine nahezu vollkommene Ablehnung der Säureseite (— 91,4). Mit steigender Konzentration gelangen wir also von der Indifferenz über ein Optimum der Bevorzugung der Säure zu einer starken Ablehnung derselben. Die genaue Lage und Höhe des Optimums lassen sich auf Grund der wenigen Versuche nicht angeben.

Auch über die Reaktionsschwelle läßt sich nur sagen, daß sie beträchtlich unter der 0,46-g-Konzentration, d. h. unter der 0,03-mol-Apfelsäure-Gelatinelösung liegt.

Auch bei den Apfelsäure-Versuchen wurde eine Versuchsgruppe beobachtet (0,46 g), bei der die ersten Tagesversuche ein anderes, nämlich indifferentes, Verhalten anzeigten als die späteren, bevorzugenden, was auf die Möglichkeit der Kontrastwirkung und Gewöhnung hindeutet.

6. Zitronensäure im Vergleich mit reiner Gelatine (Tab. 7).

Die Versuche mit Zitronensäure entsprachen sowohl hinsichtlich der Ausführung als auch hinsichtlich der Ergebnisse in hohem Maße denen mit Apfelsäure. Wieder wurde mit 4 Konzentrationsstufen gearbeitet, nämlich mit D = 0,72 g, C = 3,59 g, B = 8,98 g und E = 0,14 g. Die Versuche liefen in der angegebenen Reihenfolge ab. Sie waren zwischen den drei ersten und der letzten Versuchsgruppe mit Apfelsäure eingeschaltet und wurden auch von denselben Würmern (Terrarien 1—8 und 9—16) bearbeitet. Der Zusatz der Zitronensäure zur Gelatine ergab keine Ausfällungen. Bei der höchsten Konzentration (8,98 g) erstarrte die Gelatine jedoch nur noch zu einer zähen, schleimigen Masse. Stets wurde wieder mit reiner Gelatine verglichen.

a) 0,72 g Zitronensäure im Vergleich mit reiner Gelatine.
(19.—25./10. 1932, Prot. 963—968, Tab. 7).

Die Versuchsgruppe mit 0,72 g Zitronensäure folgte mit 4 Tagen Pause auf die mit 5,73 g Apfelsäure. Beide wurden von den Terr. 9—16 bearbeitet. Die kalte Zitronensäure-Gelatine zeigte normale Konsistenz. Ihr Geschmack war für die Versuchsperson sehr angenehm und deutlich sauer. Der Leimgeschmack war verdeckt. Bei mäßiger Einziehtätigkeit (Ind. 4,1) wurden 5 Tagesversuche ausgeführt, die sehr regelmäßig ausfielen (8:25, 12:27, 9:17, 8:28, 8:23). Alle waren positiv für Zitronensäure. Von den Terrarienresultaten waren 27 positiv, 4 negativ und 2 indifferent. Die Gesamtzahl der Einziehungen war 165, und zwar 45 für reine Gelatine und 120 für Zitronensäure. Daraus ergaben sich das Prozentverhältnis 27,3:72,7, die Differenz der Prozente + 45,4, 2 M = 6,9 und $P = 10^{-8}$. — Die 0,72 g-Zitronensäure-Gelatine wurde der reinen Gelatine sehr stark vorgezogen.

b) 3,59 g Zitronensäure im Vergleich mit reiner Gelatine
(27./10.—4./11. 1932, Prot. 969—976, Tab. 7).

Die Versuchsgruppe mit 3,59 g Zitronensäure wurde von den Würmern der Terr. 1—8 ausgeführt. Sie waren vorher ungefähr 5 Wochen mit Blättern gefüttert worden und zogen mäßig gut ein (Ind. 5,0). Die erkaltete Zitronensäure-Gelatine war bei normaler Konsistenz für die Versuchsperson im Geschmack etwas unangenehm, sehr stark sauer und leicht brennend. Die 7 Tagesversuche hatten folgende Zahlenergebnisse: 5:17, 18:23, 18:32, 16:16, 25:25, 20:18, 26:23. Die ersten 3 waren beträchtlich positiv für die Zitronensäure, die folgenden 4 ungefähr indifferent. Von den Terrarienresultaten waren 26 positiv, 17 negativ und 9 indifferent. 282 Träger wurden insgesamt eingezogen, davon 128 auf der Seite der reinen Gelatine und 154 auf der der Zitronensäure. Darnach errechneten sich das Prozentverhältnis 45,4:54,6, die Prozentdifferenz + 9,2, 2 M = 5,9 und P = 0,12. — Die 3,59-g-Zitronensäure-Gelatine wurde der reinen Gelatine offenbar schwach vorgezogen. Dies ergab sich aber als Mittel zwischen der anfangs beobachteten starken Bevorzugung (3 erste Tagesversuche zusammengefaßt 41:72) und der dann folgenden Indifferenz bzw. minimalen Ablehnung (4.—7. Tagesversuch zusammen 87:82). Offenbar wurde die Zitronensäure nach Blattfütterung zuerst gern genommen, dann aber weniger geschätzt. — Das Ergebnis ist freilich nur mit 88 % Wahrscheinlichkeit gesichert; doch wird es auch durch die Resultate bei den anderen Zitronensäurekonzentrationen und bei den anderen organischen Säuren gestützt.

c) 8,98 g Zitronensäure im Vergleich mit reiner Gelatine (7.—9./11. 1932, Prot. 977—980, Tab. 7).

Mit 2 Tagen Pause an die soeben beschriebene Versuchsgruppe anschließend wurden mit denselben Würmern (Terr. 1—8) die Versuche mit 8,98 g Zitronensäure angestellt. Die Säure-Gelatine gerann in dieser hohen Konzentration, wie schon erwähnt, nur noch zu einer zähen, schleimigen Masse. Diese schmeckte sehr unangenehm, d. h. sehr stark sauer und stark brennend. Bei mäßiger Einziehleistung (Ind. 7,4) wurden 3 Tagesversuche angestellt. Sie ergaben alle eine gleichermaßen starke, nahezu absolute Ablehnung der Säure-Gelatine (61:8, 46:4, 54:4). Alle Tages- und alle 24 Terrarienresultate waren negativ für Zitronensäure. Die Gesamtzahl der Einziehungen betrug 177, davon 161 für reine Gelatine und 16 für Zitronensäure. Es waren demnach das Prozentverhältnis 91,0:9,0, die Prozentdifferenz —82,0, 2 M = 4,3 und $P = 10^{-10}$. — Die 8,98-g-Zitronensäure-Gelatine wurde im Vergleich mit reiner Gelatine nahezu vollkommen abgelehnt. An dem Ergebnis konnten der saure Geschmack, der Brennreiz und der durch die schleimige Konsistenz gegebene Tastreiz beteiligt gewesen sein.

d) 0,14 g Zitronensäure im Vergleich mit reiner Gelatine (11.—21./11. 1932, Prot. 981—986, Tab. 7).

Unmittelbar anschließend an die vorhergehend beschriebene Versuchsgruppe wurden mit denselben Würmern (Terr. 1—8) die Versuche mit 0,14 g Zitronensäure durchgeführt. Für die Versuchsperson war die Zitronensäure-Gelatine im kalten Zustand weder an der Konsistenz noch am Geschmack von der reinen Gelatine zu unterscheiden. Bei mäßiger Einziehung (Ind. 7,0) ergaben die 5 Tagesversuche die etwas schwankenden Zahlenverhältnisse 30:48, 34:27, 29:25, 18:27, 25:19. Es waren also 2 Tagesversuche positiv und 3 negativ für Zitronensäure, und von den Terrarienresultaten 21 positiv, 14 negativ und 5 indifferent. Eingezogen wurden insgesamt 282, auf der Seite der reinen Gelatine 136 und auf der der Zitronensäure 146. Es waren demnach das Prozentverhältnis 48,2:51,8, die Prozentdifferenz + 3,6, 2 M = 6,0 und P = 0,65. — Die 0,14 g-Zitronensäure-Gelatine wurde gleich gern wie die reine Gelatine genommen.

Tabelle 7. Zitronensäure im Vergleich mit reiner Gelatine. B—E Konzentrationsstufen isomolekular zu den entsprechenden anderer Stoffe.

Konz. in g	Anzahl der		Eingezogen			%		Diff. d. %	P
	Vers.	Terr.	insges.	r. Gel.	Zitr.-säure	r. Gel.	Zitr.-säure		
B 8,98	3	24	177	161	16	91,0	9,0	− 82,0	10^{-10}
C 3,59	7	56	282	128	154	45,4	54,6	+ 9,2	0,12
D 0,72	5	40	165	45	120	27,3	72,7	+45,4	10^{-8}
E 0,14	5	40	282	136	146	48,2	51,8	+ 3,6	0,65

e) Übersicht über die Versuche Zitronensäure:reine Gelatine (Tab. 7).

Ähnlich wie bei der Apfelsäure erhielten wir bei der niedrigsten untersuchten Konzentration E = 0,14 g ein indifferentes Verhalten (+ 3,6), bei der nächsthöheren D = 0,72 g eine sehr starke Bevorzugung vor der reinen Gelatine (+ 45,4), bei der drittstarken C = 3,59 g eine schwache Bevorzugung (+ 9,2) und bei der höchsten B = 8,98 g eine nahezu vollständige Ablehnung. Die Reaktionsschwelle liegt beträchtlich unter der 0,72-g-Konzentration, d. h. beträchtlich unter einer 0,03-mol-Zitronensäure-Gelatinelösung. Über die Höhe der Reizschwelle läßt sich nichts Genaues aussagen. Die starke Bevorzugung der Konzentration D = 0,72 g zeigt, daß ein Optimum vorhanden ist, dessen genaue Lage durch unsere Versuche aber nicht angegeben werden kann. Sicher ist nur, daß die abfallende Kurve bei der Konzentration C = 3,59 g wieder

nahe an der 50 %-Linie angekommen ist, und daß sie von da ab weiterhin fällt, um bei der Konzentration B = 8,98 g nahezu vollkommene Ablehnung zu erreichen. Dabei kann nicht sicher gesagt werden, ob die Konzentration B nicht ebenfalls lebhaft eingezogen würde, wenn die Träger vollständig mit der Zitronensäure-Gelatine überzogen worden wären. — Bei den Konzentrationen B und C waren vielleicht, wenn wir die Beobachtungen der Versuchsperson heranziehen, außer dem Geschmacksreiz sauer noch in verschiedenem Grade der Reiz brennend und bei der Konzentration B evtl. auch noch ein Berührungsreiz, der durch die schleimige Konsistenz gegeben sein könnte, wirksam.

Die Konzentration C lag offensichtlich nahe der Umschlagskonzentration von Bevorzugung zu Ablehnung. Dies zeigte noch mehr als die Maßzahl + 9,2 der Ablauf der Versuchsgruppe, wobei die ersten Tagesversuche eine klare Bevorzugung der Zitronensäure, die letzten ein ungefähr indifferentes Verhalten gegen dieselbe ergaben (S. 524).

7. Rechts-Weinsäure im Vergleich mit reiner Gelatine (Tab. 8).

Mit Rechts-Weinsäure wurde wieder in den 4 Konzentrationsstufen C = 3,62 g, D = 0,72 g, B = 9,05 g und E = 0,14 g gearbeitet. Zwischen den beiden erst erwähnten Versuchsgruppen mit 3,62 g und 0,72 g war eine Versuchsgruppe mit Traubensäure eingeschaltet worden; zudem wurde die Versuchsgruppe mit 0,72 g R-Weinsäure alternierend mit 0,78 g Traubensäure durchgeführt, d. h. auf einen Tagesversuch mit Traubensäure folgte jeweils ein solcher mit R-Weinsäure. — Die Versuchsgruppe mit 3,62 g R-Weinsäure fand eine Wiederholung bei den Versuchen mit kombinierten Geschmäcken, und zwar in regelmäßiger Abwechslung von 0,4 g NaCl, 3,62 g R-Weinsäure und 0,4 g NaCl + 3,62 g R-Weinsäure. — Die Versuche liefen ohne wesentliche Unterbrechung vom 24./1. 1933 bis 8./4. 1933. Stets waren 8 Terrarien in Arbeit, und zwar vom 24./1. 1933 bis 28./2. 1933 die Terrarien 1—8 und dann die Terrarien 9—16. Die Würmer der Terrarien 1—8 waren vor Beginn der Versuche 40 Tage lang reichlich mit Blättern gefüttert worden; sie befanden sich aber zu dieser Zeit schon 9 Monate in Gefangenschaft. Die Lösung der R-Weinsäure (ohne Kristallwasser) in der Gelatine zeigte auch in den hohen Konzentrationen kaum Besonderheiten. Stets wurde mit reiner Gelatine verglichen.

a) 3,62 g R-Weinsäure im Vergleich mit reiner Gelatine (Tab. 8).

Wie soeben erwähnt, wurden mit 3,62 g R-Weinsäure (= Konz. C) 2 Versuchsgruppen (a_1, und a_2) durchgeführt. Sie sollen zuerst gesondert behandelt und dann zusammengezogen werden.

a_1) Bei der 1. Versuchsgruppe (Prot. 1035—1040, 24.—30./1. 1933) arbeiteten die Terrarien 1—8 nach vorausgegangener 40tägiger Blattfütterung. Die Konsistenz der kalten Gelatinelösung war normal, die Farbe eine Spur heller als gewöhnlich; der Geschmack war für die Versuchsperson stark sauer, nicht oder nur ganz schwach brennend und etwas unangenehm. Auf die Zähne wirkte die Lösung abstumpfend. Die 5 Tagesversuche boten bei mäßig guter Einziehtätigkeit (Ind. 6,6) ein recht regelmäßiges Bild. Ihre Zahlenverhältnisse waren 26:18, 39:10, 42:11, 43:9, 43:21. Alle waren negativ für R-Weinsäure. Von den Terrarienergebnissen waren 6 positiv, 32 negativ und 1 indifferent. Die Gesamtzahl der Einziehungen betrug 262, und zwar 193 für reine Gelatine und 69 für R-Weinsäure. Daraus errechneten sich das Prozent-

verhältnis 73,7:26,3, die Prozentdifferenz — 47,4, 2 M = 5,4 und P = 10^{-10}. — Die 3,62 g-Rechts-Weinsäure wurde im Vergleich mit reiner Gelatine sehr stark abgelehnt.

a_2) In der 2. Versuchsgruppe mit 3,62 g R-Weinsäure (15./3.—6./5. 1933, Prot. 1069—1086) arbeiteten die Terr. 9—16. Die 6 Tagesversuche folgten nicht unmittelbar aufeinander, sondern waren jeweils in die Folge 0,4 g NaCl, 3,62 g R-Weinsäure und 0,4 g NaCl + 3,62 g R-Weinsäure eingeschaltet worden; dabei betrug die ganze Versuchsserie 18 Tagesversuche, von denen 6 mit 3,62 g R-Weinsäure ausgeführt wurden. Diesen waren also stets solche mit 0,4 g NaCl vorausgegangen, das stark abgelehnt wurde. — Die Einziehleistung war mäßig (Ind. 7,0). Alle 6 Tagesresultate waren negativ für R-Weinsäure bei etwas schwankenden Zahlenverhältnissen (28:16, 48:18, 27:17, 41:16, 22:16, 54:33). Von den Terrarienresultaten waren 8 positiv, 33 negativ und 7 indifferent für R-Weinsäure. Insgesamt waren 336 Träger eingezogen worden im Verhältnis 220:116 für reine Gelatine : R-Weinsäure. Es waren also das Prozentverhältnis 65,5:34,5, die Prozentdifferenz — 31,0, 2 M = 5,2 und P = 10^{-8}. — 3,62 g R-Weinsäure wurde im Vergleich mit reiner Gelatine stark abgelehnt.

Das Ergebnis der beiden Versuchsgruppen stimmt darin überein, daß die R-Weinsäure im Vergleich mit reiner Gelatine stark abgelehnt wurde. Das Ausmaß der Ablehnung ist aber etwas verschieden. Die Prozentdifferenz betrug in der 1. Versuchsgruppe — 47,4 und in der 2. nur — 31,0 bei einem doppelten mittleren Fehler von 5,4 bzw. 5,2. Die Verschiedenheit der Ablehnung beruht wahrscheinlich nicht einfach auf der normalen Variation, sondern hat wohl ihren Grund in der verschiedenen Versuchsanordnung. Bei der 1. Versuchsgruppe folgten alle Tagesversuche ohne Unterbrechung direkt aufeinander, während sie bei der zweiten jeweils durch zwei Nächte unterbrochen waren, in denen andere Geschmackstoffe dargeboten wurden; dabei ging der R-Weinsäure stets 0,4 g Kochsalz voraus. Es ist durchaus möglich, daß diese Vorschaltung des ebenfalls stark abgelehnten Kochsalzes (Maßzahl — 41,6) die Ablehnung der R-Weinsäure etwas verminderte. Eine beträchtliche Anzahl von Beobachtungen spricht für eine derartige Beeinflussung des geschmacklichen Verhaltens der Würmer. — Außerdem wurden die beiden Versuchsgruppen mit verschiedenen Würmern durchgeführt, nämlich die 1. mit den Terr. 1—8, die 2. mit 9—16.

Faßt man die beiden Versuchsgruppen zusammen, so ergeben sich insgesamt 598 Einziehungen im Verhältnis reine Gelatine : R-Weinsäure wie 413:185. Es sind ferner das Prozentverhältnis 69,1:30,9, die Prozentdifferenz — 38,3, 2M = 3,8 und P = 10^{-10}.

b) 0,72 g R-Weinsäure im Vergleich mit reiner Gelatine. (7.—17./2. 1933, Prot. 1047—1056, Tab. 8).

Auf die oben unter a) geschilderte Versuchsgruppe mit 3,62 g R-Weinsäure war eine solche mit 3,90 g Traubensäure gefolgt. Anschließend wurde in täglichem Wechsel 0,78 g Traubensäure und 0,72 g R-Weinsäure mit reiner Gelatine verglichen. Stets waren die Terr. 1—8 in Arbeit. Die nunmehr zu betrachtenden 5 Tagesversuche mit 0,72 g R-Weinsäure zeigten bei mäßig guter Einziehtätigkeit (Ind. 6,1) alle eine Bevorzugung der R-Weinsäure vor reiner Gelatine. Ihre Zahlenverhältnisse waren 18:27, 19:42, 17:35, 17:27, 15:27. Von den Terrarienergebnissen waren 28 positiv, 10 negativ und 1 indifferent für R-Weinsäure. Die Gesamtzahl der Einziehungen betrug 244, davon 86 für reine Gelatine und 158 für R-Weinsäure. Darnach waren das Prozentverhältnis 35,2:64,8, die Prozentdifferenz + 29,6, 2 M = 6,1 und P = 10^{-5}. — Die 0,72 g R-Weinsäure wurde also der reinen Gelatine stark vorgezogen.

c) 9,05 g R-Weinsäure im Vergleich mit reiner Gelatine (20.—21./2. 1933, Prot. 1057—1059, Tab. 8).

Die Versuche mit 9,05 g R-Weinsäure schlossen unmittelbar an die soeben geschilderten an. Die auch hier verwendeten Terrarien 1—8 zogen mäßig gut ein (Ind. 7,3). Die R-Weinsäure-Gelatine war kalt etwas weniger fest als die normale Gelatine und schmeckte sehr unangenehm, nämlich sehr stark sauer, brennend und die Zähne abstumpfend. Die Würmer zeigten eine vollkommene Ablehnung der R-Weinsäure. 2 Tagesversuche hatten die Zahlenverhältnisse 62:0 und 57:0. Bei insgesamt 119 Einziehungen ergaben sich also das Zahlenverhältnis 119:0, das Prozentverhältnis 100:0, die Prozentdifferenz — 100 und 2M = 0. — 9,05 g R-Weinsäure wurde im Vergleich mit reiner Gelatine vollkommen abgelehnt.

d) 0,14 g R-Weinsäure im Vergleich mit reiner Gelatine (22.—28./2. 1933, Prot. 1060—1065, Tab. 8).

In der letzten direkt anschließenden Versuchsgruppe wurde 0,14 g R-Weinsäure mit reiner Gelatine verglichen. Die Terrarien 1—8 zogen mäßig gut ein (Ind. 5,7). Die 5 Tagesversuche zeigten schwach schwankende Zahlenverhältnisse, nämlich 27:22, 17:18, 21:24, 28:24 26:19.

2 waren also schwach positiv und 3 schwach negativ für R-Weinsäure. Von den Terrarienergebnissen waren 14 positiv, 20 negativ und 4 indifferent. Die Gesamtzahl der Einziehungen betrug 226, davon 119 auf der Gelatineseite und 107 auf der Seite der R-Weinsäure. Daraus berechneten sich das Prozentverhältnis 52,7:47,3, die Prozentdifferenz — 5,4, 2 M = 6,6 und P = 0,44. — 0,14 g R-Weinsäure wurde der reinen Gelatine gleich gewertet.

Tabelle 8. Rechts-Weinsäure im Vergleich mit reiner Gelatine. B—E Konzentrationsstufen isomolekular zu den entsprechenden anderer Stoffe.

Konz. in g	Anzahl der		Eingezogen			%		Diff. d. %	P
	Vers.	Terr.	insges.	r. Gel.	R.-Weinsäure	r. Gel.	R.-Weinsäure		
B 9,05	2	16	119	119	0	100	0	—100	—
C 3,62	11	88	598	413	185	69,1	30,9	— 38,3[1]	10^{-10}
D 0,72	5	40	244	86	158	35,2	64,8	+ 29,6[2]	10^{-5}
E 0,14	5	40	226	119	107	52,7	47,3	— 5,4	0,44

1) Ergebnis von 2 Versuchsgruppen: a_1 nach Blattfütterung, alle 5 Tagesversuche ohne Unterbrechung durchgeführt, Prozentdifferenz —47,4; a_2 die 6 Tagesversuche alternierend mit 0,4 g NaCl und 0,4 g NaCl + 3,62 g Rechts-Weinsäure, stets auf 0,4 g NaCl folgend, Prozentdifferenz —31,0.

2) In täglichem Wechsel mit 0,78 g Traubensäure.

e) Übersicht uber die Versuche R-Weinsäure: reine Gelatine (Tab. 8).

Bei den 4 Konzentrationen von R-Weinsäure, die mit reiner Gelatine verglichen wurden, ergaben sich ganz ähnliche Resultate wie bei den anderen organischen Säuren. Gegen die schwächste Konzentration (0,14 g) verhielten sich die Würmer indifferent, d. h. die reine Gelatine und Säuregelatine wurden gleich gewertet (— 5,4). Die nächstfolgende Konzentration (0,72 g) wurde der reinen Gelatine stark vorgezogen (+ 29,6), die nächstfolgende (3,62 g) stark abgelehnt (—47,4 bzw. —31,0, zus. —38,3) und die höchst geprüfte Konzentration (9,05 g) vollkommen abgelehnt (—100). Die niedrigste Konzentration liegt also unter der Reaktionsschwelle; diese muß aber beträchtlich unter der 0,72-g-Konzentration, d. h. der 0,03-mol-R-Weinsäure-Gelatinelösung liegen. Auf die Reaktionsschwelle folgt ein Optimum, dessen Lage nicht genau angegeben werden kann, das aber wohl in der Gegend von 0,72 g liegt. Da die Konzentration von 3,62 g wieder stark abgelehnt wird, muß zwischen ihr und dem Optimum wieder eine Konzentration mit indifferentem Verhalten liegen, deren Höhe aber nicht bestimmt wurde. Mit dem weiteren Anstieg der Konzentration steigt auch die Ablehnung, um bei spätestens 9,05 g vollständig zu werden.

Die Versuchsgruppen bei den verschiedenen Konzentrationen verliefen im allgemeinen sehr einheitlich und ohne größere Schwankungen zwischen den Tagesversuchen. Bei der zweimal durchgeführten Versuchsgruppe mit 3,62 g ergeben sich gewisse Anhaltspunkte dafür, daß die Art der vorausgehenden Versuche das Verhalten der Würmer beeinflußen kann.

8. Traubensäure im Vergleich mit reiner Gelatine (Tab. 9).

In enger Verbindung mit der R-Weinsäure wurden auch einige Versuche mit Traubensäure durchgeführt. Die Traubensäure oder racemische Weinsäure

stellt eine Verbindung der R-Weinsäure und L-Weinsäure dar. In kristallenem Zustand hat sie die Formel $2\,C_4H_6O_6 + 2\,H_2O$. Sie läßt sich in ihre beiden Komponenten spalten und zeigt in festem Zustand bestimmte Unterschiede von den R- und L-Weinsäuren, scheint dagegen im gelösten nur aus einer Mischung der beiden Aktiven zu bestehen. (A. F. HOLLEMANN, 1909, p. 203). Die für den Versuch verwendeten Mengen wurden unter Einbeziehung des Kristallwassers berechnet; sie sind daher etwas höher als die bei der R-Weinsäure verwendeten, wo das Kristallwasser fehlt. Bei beiden Konzentrationen (3,90 g und 0,78 g) wurde mit reiner Gelatine verglichen.

a) 3,90 g Traubensäure im Vergleich mit reiner Gelatine (31./1.—3./2. 1933, Prot. 1041—1045, Tab. 9).

Die Versuche mit 3,90 g wurden direkt an die mit R-Weinsäure (3,62 g) angeschlossen. Wie dort standen die Terr. 1—8 in Arbeit. Ihre Würmer zogen mäßig gut ein (Ind. 6,3). Zwischen den kalten Gelatinelösungen der beiden Säuren war geschmacklich kaum ein Unterschied wahrnehmbar. Beide schmeckten stark sauer und wirkten ein wenig brennend und die Zähne abstumpfend. Die Traubensäure-Lösung schien etwas weniger unangenehm als die der R-Weinsäure. Die warme Traubensäure zeigte beim Zusatz der Gelatine einen schwachen milchigen Niederschlag. Die Gerinnungsfähigkeit war normal. Die 4 Tagesversuche wurden an 4 aufeinanderfolgenden Tagen durchgeführt. Ihre Ergebnisse zeigten sehr einheitlich eine sehr starke Ablehnung der Traubensäure (47:6, 47:9, 48:5, 40:1). Von den 32 Terrarienergebnissen waren 0 positiv, 31 negativ und 1 indifferent für Traubensäure. Die Gesamtzahl der Einziehungen betrug 203, nämlich 182 auf der Seite der reinen Gelatine und 21 auf der der Traubensäure. Daraus berechneten sich das Prozentverhältnis 89,7:10,3, die Prozentdifferenz —79,4, 2 M = 4,3 und $P = 10^{-19}$. — 3,90 g Traubensäure wurde im Vergleich mit reiner Gelatine sehr stark abgelehnt. Die Ablehnung war beträchtlich stärker als die der R-Weinsäure.

b) 0,78 g Traubensäure im Vergleich mit reiner Gelatine (6.—16./2. 1933, Prot. 1046—1056 a, Tab. 9).

Nach der überraschend starken Ablehnung der 3,90 g Traubensäure in der soeben beschriebenen Versuchsgruppe wurden sofort anschließend mit denselben Würmern Versuche mit 0,78 g Traubensäure durchgeführt. Um einen sicheren Vergleich mit der R-Weinsäure zu ermöglichen, wurde zwischen die 5 Tagesversuche von Traubensäure jeweils ein Tagesversuch mit R-Weinsäure (0,72 g) eingeschaltet (S. 527). Die 5 Tagesversuche mit Traubensäure ergaben bei mäßiger Einziehleistung (Ind. 6,5) die Zahlenverhältnisse: 20:44, 16:45, 19:26, 22:25, 20:22. Alle waren positiv für Traubensäure, doch war die Bevorzugung anfangs offensichtlich größer als in den letzten Versuchen. Von den Terrarienergebnissen waren 28 positiv, 8 negativ und 3 indifferent. Insgesamt waren 259 Träger eingezogen worden, und zwar 97 auf der Gelatine- und 162 auf der Traubensäure-Seite. Daraus ergaben sich das Prozentverhältnis 37,4:62,6, die Prozentdifferenz +25,2, 2 M = 6,0 und $P = 10^{-5}$. — 0,78 g Traubensäure wurde der reinen Gelatine stark vorgezogen.

Tabelle 9. Traubensäure im Vergleich mit reiner Gelatine. C, D Konzentrationsstufen isomolekular zu den entsprechenden anderer Stoffe.

Konz. in g	Anzahl der		Eingezogen			%		Diff. d. %	P
	Vers.	Terr.	insges.	r. Gel.	Traubensäure	r. Gel.	Traubensäure		
C 3,90	4	32	203	182	21	89,7	10,3	—79,4[1]	10^{-19}
D 0,78	5	40	259	97	162	37,4	62,6	+25,2[2]	10^{-5}

1) Unmittelbar anschließend an 3,62 g R-Weinsäure (—47,4).
2) Tagesversuche alternierend mit 0,72 g R-Weinsäure (+29,6).

c) Übersicht über die Versuche Traubensäure: reine Gelatine (Tab. 9).

Die Ergebnisse der beiden Versuchsgruppen mit Traubensäure fügen sich denen mit anderen Säuren recht gut ein. Die D-Konzentration (0,78 g) ergab eine deutliche Bevorzugung der Säure vor der reinen Gelatine (+ 25,2), und die C-Konzentration (3,90 g) eine Ablehnung. Auffällig ist dabei allerdings die sehr starke Ablehnung der C-Konzentration (— 79,4). Die Reaktionsschwelle liegt zweifellos beträchtlich unter der 0,78-g-Konzentration, d. h. unter der 0,03-mol-Traubensäure-Gelatinelösung. —

Der Vergleich der Versuchsergebnisse mit Traubensäure und R-Weinsäure wird S. 535 durchgeführt.

9. Besprechung der Versuche Säure: reine Gelatine (Tab. 10, Abb. 3a, b).

Bei den Versuchen mit Säuren wurden Salzsäure, Phosphorsäureanhydrid, Oxalsäure, Apfelsäure, Zitronensäure, Rechts-Weinsäure und Traubensäure behandelt. In jedem Fall wurde mit mehreren Konzentrationen gearbeitet und die Säuregelatine jeweils mit reiner Gelatine verglichen. Die dabei erhaltenen Maßzahlen (Prozentdifferenzen) bilden dann die Grundlage unserer Betrachtungen. Sie sind für die 6 letzterwähnten Säuren, bei denen 4 isomolekulare Konzentrationsstufen Verwendung fanden, in der Tab. 10 zusammengestellt. Für die Betrachtung der Salzsäure ist die Tab. 3, S. 514 heranzuziehen, für die der Phosphorsäure, bei der mehr Konzentrationsstufen geprüft wurden, außer der Tab. 10 auch Tab. 4. Die Ergebnisse aller Säureversuche wurden in den Abb. 3a, b graphisch dargestellt, und zwar unter Berechnung der Konzentration in g (Abszisse) in der Abb. 3a und in g-Molekülen (Abszisse) in der Abb. 3b.

Über einer bestimmten Konzentrationsstufe reagierten die Würmer einwandfrei auf alle Säuren. Die Reaktionsschwelle liegt bei allen Säuren sicher beträchtlich unter der Konzentrationsstufe D (0,0034-g-mol auf 120-g-Gelatinelösung, ungefähr gleich einer 0,03-mol-Säure-Gelatinelösung); denn im Bereich dieser Konzentration wurde die Säuregelatine von der reinen Gelatine klar unterschieden. Wahrscheinlich liegt die Reaktionsschwelle ungefähr im Bereich von 0,001—0,002-g-mol, d. h. von 0,01—0,02-mol-Lösungen. Tiefer liegende Konzentrationen wurden von den Würmern der reinen Gelatine gleich gewertet. Ob dabei die Säure überhaupt nicht wahrgenommen wurde, kann nicht gesagt werden. Die Reizschwelle für Säure ist, wie schon mehrfach ausgeführt wurde, mit unserer Methode nicht zu ermitteln. Die sonstigen Ergebnisse lassen annehmen, daß sowohl die Reizschwellen als auch die Reaktionsschwellen für die verschiedenen Säuren verschieden sind.

Steigert man die Konzentration über die Reaktionsschwelle hinaus, so bekommt man zuerst eine deutliche Bevorzugung der Säuregelatine vor der reinen Gelatine, d. h. die Maßzahlen werden positiv. Wir haben also ein Säure-Optimum (Salzsäure ausgenommen); seine genaue Lage läßt sich aber nach

den vorliegenden Versuchen nicht angeben. Sicher liegt es bei niedrigen Konzentrationen, d. h. bei 0,5—1,5 g (Abb. 3a). Sicher ist wohl auch, daß es bei den verschiedenen Säuren bei verschiedenen Konzentrationen liegt, und zwar bei Apfelsäure, Zitronensäure, Rechts-Weinsäure und Traubensäure wahrscheinlich im Bereich der Konzentrationsstufe D = 0,0034 g-mol, bei Phosphorsäureanhydrid ungefähr bei C = 0,017 g-mol und bei Oxalsäure wohl auch bei C, wenn nicht noch höher. Bei Salzsäure ergab sich überraschenderweise überhaupt kein Optimum: es sei denn, es liege zwischen der 0,0010- und 0,0025-g-mol-Konzentration, was aber nicht sehr wahrscheinlich ist, da in der letzterwähnten Konzentration schon eine deutliche Ablehnung erzielt wurde (—23,8).

Auch die Höhe des Optimums, d. h. der Grad der Bevorzugung der Säuregelatine vor der reinen Gelatine, dürfte bei den verschiedenen Säuren verschieden sein. Die positiven Maßzahlen waren bei Apfelsäure, Zitronensäure und Phosphorsäure sehr beträchtlich, d. h. ca. + 45. Sie können bei der Art der Versuche kaum oder nur wenig höher erwartet

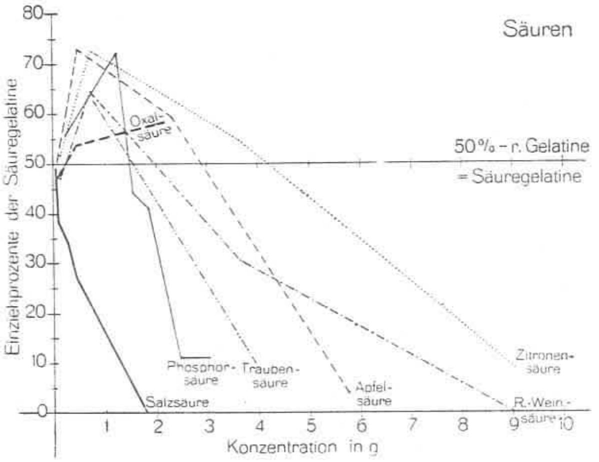

Abb. 3a.

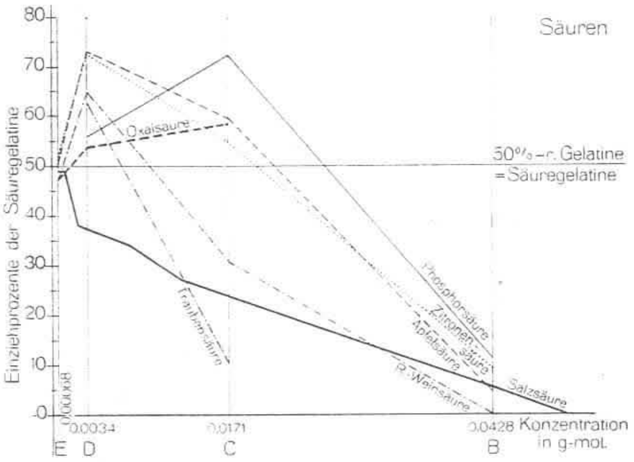

Abb. 3b.

Abb. 3a. Graphische Darstellung des Verhaltens des Regenwurms beim Vergleich verschieden stark konzentrierter Säuregelatine (Salzsäure, Phosphorsäure, Traubensäure, Apfelsäure, R-Weinsäure, Zitronensäure) mit reiner Gelatine. Auf der Abszisse die Säurekonzentration in Gramm, auf der Ordinate die Einziehprozente der Säuregelatine. — Die Parallele zur Abszisse in Höhe von 50 %, die 50-%-Linie, bezeichnet die Orte gleicher Wertung von reiner Gelatine und Säuregelatine. Die Einziehkurven der verschiedenen Säuren sind entsprechend bezeichnet; bei Salzsäure ist die stark abweichende 0,886-g-Konzentration weggelassen.

Abb. 3b. Wie 3 a, nur auf Abszisse die Konzentrationen der Säuren in g-mol angegeben (B, C, D und E).

werden, so daß die ihnen zugrunde liegenden Konzentrationen den Optima wahrscheinlich recht nahe liegen. Bei den anderen Säuren waren die positiven Maßzahlen geringer und die Optima wohl weniger nahe getroffen.

Der Kurvenanstieg von der 50-%-Linie zum Optimum ist bei allen Säuren recht beträchtlich (Abb. 3a), aber natürlich verschieden steil, da die Optima wahrscheinlich verschieden hoch sind und bei etwas verschiedenen Konzentrationen liegen.

Erhöht man die Konzentration über die optimale hinaus, so fällt die Bevorzugung vor der reinen Gelatine wieder ab, und man bekommt eine Ablehnung der Säure-Gelatine, die sehr hohe Werte annimmt, ja hundertprozentig werden kann. Der Grad des Kurvenabfalls ist auch hier bei den verschiedenen Säuren verschieden. Der Abfall ist steil bei der Salzsäure und Phosphorsäure (Abb. 3a), flach bei der Zitronen- und R-Weinsäure, und mäßig flach bei der Apfel- und Traubensäure. — Bei der Oxalsäure konnte eine Ablehnung überhaupt nicht erzielt werden. Die positiven Werte stiegen bei der Konzentrationsstufe C (2,15 g = 0,0171 g-mol) auf + 16,8. Die Konzentration B (5,38 g = 0,0428 g-mol) konnte nicht mehr untersucht werden, da die Säuregelatine nicht mehr fest geworden ist.

Die Ergebnisse zeigen also, wenn man von der Salzsäure und Oxalsäure absieht, gewisse einheitliche Züge in dem Vorkommen eines Optimums, in dessen Lage bei den niedrigen Konzentrationen und in der steigenden Ablehnung der höheren Konzentrationen.

Die Ergebnisse zeigen aber auch, daß sehr beträchtliche Verschiedenheiten vorhanden sind. Diese lassen kaum einen Zweifel daran bestehen, daß die meisten der behandelten Säuren, wenn sie in der gleichen Konzentration (in g) jeweils paarweise den Würmern zum direkten Vergleich geboten würden, eine klare Unterscheidung erführen. Dies zeigt besonders der Verlauf der Kurven in der Abb. 3a.

Bei der Betrachtung der gemeinsamen Züge der Ergebnisse wird man kaum fehlgehen, wenn man sie auf dieselbe Ursache zurückführt.

Man könnte daran denken, daß die Anzahl der Moleküle entscheidend sei, d. h. daß die gleiche Zahl der Moleküle bei den verschiedenen Säuren denselben Reizwert besäßen. Dieses ist nicht gerade wahrscheinlich und auch sicher nicht der Fall, denn die für isomolekulare Mengen erhaltenen Werte sind keinesfalls gleich. Die Abb. 3b zeigt dies in sehr klarer Weise. In der Konzentrationsstufe D (= 0,0034 g-mol) sind zwar alle Maßzahlen positiv (ausgenommen Salzsäure); sie zeigen aber recht verschiedene Werte; andererseits sind sie in der Konzentrationsstufe B (= 0,0428 g-mol) alle tief negativ, aber ebenfalls voneinander verschieden. In der Konzentrationsstufe C (= 0,0171 g-mol) sind sie teils positiv, teils negativ und sehr verschieden voneinander.

Viel wahrscheinlicher ist aber, daß die Anwesenheit der Wasserstoff-Ionen entscheidend ist und daß die Anzahl der vorhandenen H-Ionen das Verhalten

der Würmer bestimmt. — Die Anzahl der H-Ionen, die in unseren Versuchen zur Wirkung kommen, läßt sich aus folgenden Gründen schwer erfassen: 1. Sind die Säuren in Gelatine gelöst und in der erstarrten Gelatine dargeboten worden und unterlagen der amphoteren Wirkung der Gelatine; 2. ist unsicher, in welcher Konzentration die Säuren an die Sinnesorgane herangekommen sind, da die Würmer erfahrungsgemäß die einzuziehenden Gegenstände stark einspeicheln und das Ausmaß dieser Einspeichelung vermutlich von Fall zu Fall wechselt, und 3. ist anzunehmen, daß durch den Speichel die freien H-Ionen in mehr oder weniger großem Ausmaß neutralisiert worden sind: denn nach den Angaben von JORDAN (1913, p. 193) und auch eigenen Erfahrungen besitzt der Speichel der Regenwürmer alkalische Reaktion.

Diese Bedenken und der Mangel einer passenden Apparatur zur Bestimmung der H-Ionen-Konzentration ließen mich auf besondere Messungen verzichten und veranlaßten mich vorläufig allgemein orientierend das Verhalten der Würmer gegen Säuren zu untersuchen. Weiterhin sollten dann auf der Basis der gemachten Erfahrung die Versuche unter besonderer

Tabelle 10. Zusammenstellung der Ergebnisse der Versuche mit Phosphorsäureanhydrid, Oxalsäure, Apfelsäure, Zitronensäure, Rechtsweinsäure und Traubensäure. 4 isomolekulare Konzentrationsstufen (B, C, D, E) wurden mit reiner Gelatine verglichen. — Spalte 2—7 gibt die Konzentration der Säuren in g pro 100 g Wasser + 20 g Gelatine, und die Charakterisierung des Geschmacks der kalten Säuregelatine für die Versuchsperson (sss = sehr stark sauer, ss = stark sauer, s = mäßig sauer; bb = stark brennend, b = mäßig brennend; uu = sehr unangenehm, u = unangenehm; a = angenehm, aa = sehr angenehm. Symbol in Klammern bedeutet ganz schwach oder Übergang zur nächstniedrigen Stufe. Spalte 8—13 geben die Prozentdifferenzen (Maßzahlen): positiv, wenn die Säuregelatine vorgezogen, negativ, wenn sie abgelehnt wurde.

Konzentrations-stufe g-mol	Konzentration in g und Geschmackswert für Versuchsperson						Differenz der % beim Vergleich mit reiner Gelatine					
	Phosphor-säure-anh.	Oxal-säure	Apfel-säure	Zitronen-säure	R-Wein-säure	Trauben-säure	Phosphor-säure-anh.	Oxal-säure	Apfel-säure	Zitronen-säure	R-Wein-säure	Trauben-säure
B 0,0428	3,04 ss, b, u	—	5,73 sss, (b), u	8,98 sss, bb, uu	9,05 sss, bb, uu	—	—77,4	—	—91,4	—82,0	—100	—
C 0,0171	1,22 s—a	2,15 ss, (b), a	2,29 ss, (b), a	3,59 sss, b, u	3,62 ss, (b), u	3,90 ss, (b), u	+44,2	+16,8	+18,8	+9,2	—38,3	—79,4
D 0,0034	0,24 (s)—a	0,43 s—a	0,46 s—a	0,72 s—aa	0,72	0,78	+11,8	+ 7,8	+46,0	+45,4	+29,6	+25,2
E 0,00068	0,05	0,08 (s)—	0,09 (s)—	0,14 —	0,15	—	—	— 5,4	+ 0,8	+ 3,6	— 5,4	—

Berücksichtigung der geeignetsten Säuren intensiviert und mit größtmöglicher Exaktheit durchgeführt werden.

Die Tatsache, daß der Regenwurm die einzuziehenden Gegenstände reichlich mit alkalischem Speichel behandelt, führt uns bei der Untersuchung seines Verhaltens gegen Säuren zu denselben Fragen, auf welche die Erforschung des Säuregeschmacks beim Menschen gestoßen ist. Diese machte nämlich die Erfahrung (s. VON FRISCH, 1934), daß die Intensität des Säuregeschmacks der starken, vollständig dissoziierten Säuren wohl der in der Lösung jeweils vorhandenen Anzahl der freien H-Ionen entspricht, daß aber unvollständig oder schwach dissoziierte Säuren einen stärkeren Säuregeschmack aufweisen, als ihnen nach der Anzahl der freien H-Ionen zukommt.

Zur Erklärung dieser Beobachtungen wurden verschiedene Ansichten geltend gemacht: nämlich 1. daß durch den alkalischen Speichel oder durch Reaktionen mit den Sinneszellen freie H-Ionen neutralisiert werden und daß die unvollkommen dissoziierten Säuren den Verlust sofort aus ihren undissoziierten Molekülen ersetzen (Dissoziationstheorie), 2. daß die Anionen und undissoziierten Moleküle an dem Sauergeschmack mitbeteiligt sind, 3. daß der Dampfdruck der Lösung oder die verschiedene Fähigkeit der Säuren, die Gewebe und Zellen zu durchdringen, maßgebend sind, und 4., daß nicht die H-Ionen-Konzentration, sondern die Titrationsacidität (Normalität) für den Sauergeschmack verantwortlich ist.

v. FRISCH, der diese Frage ausführlich diskutiert (1934, p. 111 u. ff.), konnte durch seine Untersuchungen an der Biene die Dissoziationstheorie sehr eindrucksvoll stützen. Amerikanische Forscher (CHADWICK and DETHIER, 1947) vertreten andererseits, auf Grund eingehender Untersuchungen über die Wahrnehmung von etwa 20 verschiedenen Fettsäuren durch die Fliege *Phormia regina* mittels ihrer Tarsi, die Auffassung, daß neben den H-Ionen als wichtigsten Reizelementen auch die Anionen und evtl. auch die undissoziierten Säuremoleküle bei der Auslösung der Geschmacksempfindung beteiligt sind (hier weitere Literatur).

Bei unseren Versuchen lassen sich infolge des Fehlens genauer Angaben über die H-Ionen-Konzentration bei den verwendeten Säuregelatinen sichere Schlüsse nicht ziehen. Doch ist es möglich, auf Grund der allgemeinen Tatsache, daß starke Säuren mehr freie H-Ionen haben als mittlere, und diese wieder mehr als schwache, und auf Grund besonderer Verhältnisse der verwendeten Säuren einige Betrachtungen anzustellen (Abb. 3 a, b).

Die starke Ablehnung der Salzsäure beruht zweifellos auf deren starker Dissoziation und der großen Zahl von H-Ionen selbst in verdünnten Lösungen. Die Neutralisierung durch das Einspeicheln ist hier selbst in den niedrigsten Konzentrationen nicht beträchtlich genug, um die Ablehnung aufzuheben.

Die Phosphorsäure, welche in 3 Stufen dissoziiert, wird wahrscheinlich in den schwächeren Konzentrationen durch die amphotere Wirkung der Gelatine und den Speichel weitgehend neutralisiert. Sie wird daher in den unteren

Konzentrationen gern genommen und zeigt ein Optimum bei einer verhältnismäßig hohen Konzentration (Stufe C, 1,22 g P_2O_5). Bei der weiteren Steigerung der Konzentration steigt dann das p_H wie bei einer starken Mineralsäure an. Die Ablehnung nimmt daher rapid zu, und die Kurve zeigt einen sehr ähnlich steilen Abfall wie die der Salzsäure (Abb. 3 a).

Die Traubensäure, Apfelsäure, R-Weinsäure und Zitronensäure sind schwache organische Säuren mit niedrigen Dissoziationskonstanten. In der Gelatinelösung werden sie wahrscheinlich ähnlich stark dissoziiert sein. Sie ergeben daher alle in den niedrigen Konzentrationen positive Werte und wurden in den höheren wieder abgelehnt. Neben diesen gleichartigen Zügen zeigen sie aber auch beträchtliche Verschiedenheiten (s. Abb. 3 b). Beachtenswert ist dabei vor allem, daß sie in der Konzentration D in verschiedenem Maße der reinen Gelatine vorgezogen werden (Optima) und daß ihre Kurven die 50-%-Linie in sehr verschiedener Höhe schneiden. Worauf beruhen nun diese Differenzen? Wenn wir bei diesen schwachen organischen Säuren, besonders auch im Hinblick auf die neutralisierende Wirkung der Gelatine und des Speichels, die H-Ionen-Konzentration vernachlässigen könnten (??), so führte dies zu der Auffassung, daß auch die Anionen oder undissoziierten Moleküle bei der Reizwirkung beteiligt sind und in verschiedenem Grade oder verschiedener Weise wirken.

Für diese Auffassung sprechen auch die Ergebnisse mit R-Weinsäure und Traubensäure. Ihre Kurven zeigen einen ähnlichen Verlauf (Abb. 3 b) und sind deutlich abgesetzt von denen der beiden anderen schwachen organischen Säuren, der Zitronen- und Apfelsäure. In der D-Konzentration werden sie beide in alternierenden Tagesversuchen gleich gern genommen, auch schneiden sie die 50-%-Linie in ähnlichen Konzentrationen. Dies entspricht weitgehend unseren Erwartungen, da beide außer den ähnlichen Dissoziationskonstanten auch dasselbe Anion besitzen. — Es ist aber kaum zu übersehen, daß die Wertung der beiden Säuren durch die Würmer nicht vollständig gleich ist. Schon in der D-Konzentration war auffällig, daß bei alternierender Versuchsanordnung die 5 Tagesversuche mit R-Weinsäure recht gleichmäßig abliefen, während bei der Traubensäure die ersten 2 eine stärkere Bevorzugung zeigten als die letzten 3. In der C-Konzentration ist zudem die Ablehnung bei unmittelbar aufeinanderfolgenden Versuchsgruppen klar verschieden (R-Weinsäure, Vers.gr. a_1 : —47,4, Traubensäure —79,4; Unterschied ist statistisch gesichert: $P < 0{,}00005$). Für diese Differenzen können kaum die äußeren Bedingungen (Temperatur, Feuchtigkeit) oder eine verschiedene Disposition der Würmer verantwortlich gemacht werden; wenn es nicht die H-Ionen-Konzentrationen sind, so sind es wahrscheinlich die allgemeinen Verschiedenheiten der beiden Säuren, wie sie in der Wasserlöslichkeit, der Kristallform und dem Kristallwassergehalt ihren Ausdruck finden. Auch ist nicht ausgeschlossen, daß die verschiedene molekulare Struktur der beiden Säuren maßgebend ist. Traubensäure enthält ja außer den das Licht rechts drehenden Molekülen der R-Weinsäure die spiegelbildlichen Moleküle der L-Weinsäure. — Die Versuche mit

der Weinsäure-Gruppe wurden einst unter der Fragestellung nach dem Einfluß der Molekularstruktur auf das Verhalten der Würmer angestellt. Leider konnten infolge äußerer Umstände die Versuche mit L-Weinsäure und Anti-Weinsäure nicht mehr durchgeführt werden. Ich hoffe sie noch nachholen zu können.

Besonders auffällig sind die Ergebnisse der Versuche mit Oxalsäure. Diese waren bis zur höchstgeprüften Konzentration ($C = 2{,}15$ g) positiv, ähnlich wie die mit Zitronensäure und Apfelsäure (Abb. 3a). Da aber Oxalsäure, im Gegensatz zu diesen, als stärkste verwendete organische Säure eine hohe Dissoziation aufweist, war eine starke Ablehnung schon in niedrigeren Konzentrationen zu erwarten. Zur Erklärung der Ergebnisse wird man in erster Linie geltend machen, daß die Oxalsäure in der Gelatine z. T. ausgefallen ist, und daß die H-Ionen-Konzentration infolge der Wirkung der Gelatine und des Speichels nicht den hohen Grad erreichte, der nach den Erfahrungen mit wässerigen Lösungen zu erwarten war. In zweiter Linie wird man aber ins Auge fassen, daß die Oxalsäure infolge ihrer weiten Verbreitung im Pflanzenreich dem Regenwurm sehr vertraut ist und daß möglicherweise ihr Anion für ihn einen besonderen Geschmackswert besitzt, wie wir es oben für die anderen organischen Säuren in Betracht gezogen haben. Weitere Versuche unter Einbeziehung der oxalsäurereichen Pflanzen Sauerampfer (*Rumex acetosa*) und Sauerklee (*Oxalis acetosella*) versprechen hier genauere Auskünfte.

Recht überraschend war die Feststellung, daß die Bewertung der verschiedenen Säuregelatinen durch die Würmer parallel ging mit der durch die Versuchsperson. Wie schon bei den einzelnen Versuchsgruppen bemerkt, wurde die Säuregelatine in der Regel durch die Versuchsperson auf ihren physikalischen Zustand und ihren Geschmack geprüft. Sie löste durch ihre Reizwirkung die Empfindungen „sauer", „brennend" und „Zähne stumpf" aus, wobei die Intensität der Empfindungen mit der Art der Säure und der Höhe der Konzentration wechselte. Der Grad der Empfindung wurde ebenfalls notiert, und zwar mit „sehr sauer" (sss), „stark sauer" (ss) und „schwach sauer" (s), bzw. „stark brennend" (bb) und „brennend" (b). Übergänge wurden durch Einklammerung der Symbole gekennzeichnet. Außerdem bekam die Säuregelatine meist noch das allgemeine Prädikat „angenehm" in 4 Abstufungen, nämlich „sehr angenehm" (aa), „angenehm" (a), „unangenehm" (u) und „sehr unangenehm" (uu).

Trägt man diese Symbole nach den Protokollnotizen in die Tab. 10 ein und betrachtet die Konzentrationsstufen B, C und D, so ergibt sich:

1. daß alle Säurekonzentrationen über 3 g für die Versuchsperson unangenehm schmeckten,
2. daß sie alle die Empfindungen „sehr sauer" oder „stark sauer" und „stark brennend" oder „brennend" auslösten, — und
3. daß alle diese Säurekonzentrationen von den Regenwürmern im Vergleich mit der reinen Gelatine abgelehnt wurden.

Punkt 2 und 3 treffen auch bei den zwischen den Konzentrationsstufen B und C liegenden Konzentrationen der Phosphorsäure zu, die in der Tab. 10 nicht aufgeführt sind. (Phosphorsäureanhydrid 2,44 g, 1,83 g, 1,53 g, s. Tab. 4). Nur die Zitronensäure der Konz.-Stufe C (3,59 g) wurde schwach bevorzugt. Die Maßzahl +9.2 ist aber offensichtlich etwas zu günstig, da nur die 1. Tagesversuche der Versuchsgruppe positiv, die späteren aber indifferent gewesen sind (S. 524). — Weiterhin ergibt sich:

4. daß alle in der Tab. 10 verzeichneten Säuregelatinen unter 2,29 g für die Versuchsperson „angenehm" oder „sehr angenehm" schmeckten,
5. daß sie alle „schwach sauer" und nicht brennend waren, — und
6. daß sie alle von den Regenwürmern der reinen Gelatine vorgezogen wurden.

Die Apfelsäure-Gelatine der Konz.-Stufe C (2,29 g) bildete offenbar den Übergang; sie wurde im Protokoll (947a) mit „stark sauer, kaum brennend, doch noch eben angenehm" charakterisiert. Von den Regenwürmern wurde sie deutlich bevorzugt. — Die Konz.-Stufen E schmeckten meist leimig und teilweise schwach sauer; vom Regenwurm wurden sie der reinen Gelatine gleich gewertet.

Da die Reizwirkung der Säuren beim Menschen neben der Empfindung „sauer“ auch die Empfindung „brennend“ oder „ätzend“ hervorruft, ist die Frage, ob dies beim Regenwurm ebenfalls zutrifft, und welche der beiden Wirkungen die Ablehnung verursacht. Beim Menschen werden die beiden Empfindungen wahrscheinlich durch 2 verschiedene Sinnesorgane, den Geschmackssinn und den Tastsinn, ausgelöst, und es ist nicht zweifelhaft, daß man durch starke Reizung beider eine Ablehnung verursachen kann. Für den Regenwurm läßt sich die Frage vorläufig nicht beantworten. Sie ist aber unter gewissen Voraussetzungen einer Lösung zugänglich. Wenn nämlich beim Regenwurm der Geschmacksinn auf bestimmte Regionen des Körpers lokalisiert wäre, im extremen Fall etwa auf den Pharynx (?), und der Wurm trotzdem auf einen in der Mitte der Körperoberfläche angesetzten Säurereiz reagierte, kann angenommen werden, daß die dort vorhandenen Tastsinneszellen den Säurereiz aufgenommen haben. Jedenfalls ist sicher, daß auch beim Regenwurm schon eine Reizung der Sinneszellen des chemischen Sinnes des Pharynx zur Ablehnung genügt (s. die Versuche mit Chinin, S. 504).

Bei unseren Säureversuchen war auffällig, daß alle Konzentrationen, die mit einer Ablehnung beantwortet wurden, für die Versuchsperson auch eine, wenn auch manchmal leichte Brennempfindung auslösten. Daher besteht die Möglichkeit, daß — beim Regenwurm ähnliche Verhältnisse vorausgesetzt — gerade die Brennempfindung die Ablehnung verursachte und der Geschmacksreiz allein bis zur Ablehnung eine höhere Konzentration hätte erfahren können. Für den Menschen kann aber eine leichte Brennwirkung durchaus angenehm sein, wie manche Mineralwässer zeigen. Die die Zähne abstumpfende Wirkung, welche wir beim Menschen bei stärkeren Säurekonzentrationen als 3. Reizwirkung feststellen können, hat beim Regenwurm kaum ein Gegenstück, da sie ja auf der Oberflächenänderung der Zähne beruht und der Regenwurm keine Zähne besitzt.

Die Versuche mit Säuren sind im allgemeinen recht regelmäßig gelaufen: dies zeigt sowohl das Bild der Kurven, das die Abb. 3a u. b bieten, als auch die Tatsache, daß die zu den Versuchsgruppen gehörigen einzelnen Tagesversuche oft auffallend wenig Schwankungen aufweisen. Man wird aber doch sagen müssen, daß die ermittelten Zahlenverhältnisse kaum die Genauigkeit aufweisen, wie sie bei den Versuchen mit Chinin festgestellt werden konnte. Denn in den Fällen, wo die Versuchsgruppen mehrfach durchgeführt wurden, zeigten sich stets gewisse, ja nicht unbeträchtliche Schwankungen. So ergaben die beiden mit 3,62 g R-Weinsäure durchgeführten Versuchsgruppen die Maßzahlen $-47{,}4$ und $-31{,}0$ und die drei mit 2,15 g Oxalsäure durchgeführten die Maßzahlen ± 0, $+34{,}2$ und $+20{,}4$. An dem verschiedenen Ergebnis mag der Umstand mitbeteiligt sein, daß die Lösung der Säure in Gelatine keine Sicherheit zuläßt, daß die H-Ionen-Konzentration stets dieselbe ist, da ja die Gelatine ein amphoterer Stoff ist, der selbst H-Ionen bilden kann. Wahrscheinlicher scheint aber, daß bei den Versuchen die D i s p o s i t i o n d e r

Würmer die Variation der Ergebnisse mit bestimmt hat. Sowohl bei der R-Weinsäure wie bei der Oxalsäure ließen sich dafür Anhaltspunkte geltend machen, wie S. 527 und S. 520 ausgeführt wurde. Außerdem wurden auch einige Versuchsgruppen beobachtet, bei denen die ersten Tagesversuche ein anderes Verhalten zeigten als die weiteren. Bei 0,46 g Apfelsäure zeigte z. B. der erste Versuch eine ungefähr gleiche Bewertung der Apfelsäure-Gelatine und der reinen Gelatine, während die 5 folgenden eine starke Bevorzugung der Apfelsäure ergaben (S. 538). Bei der Zitronensäure wurde die 3,59-g-Gelatine in den ersten 3 Versuchen deutlich vorgezogen, in den folgenden 4 aber mit der Gelatine gleich gewertet. Auch bei der Traubensäure wurde die 0,78-g-Konzentration in den 2 ersten Tagesversuchen stärker vorgezogen als in den 3 letzten. Schließlich ergab sich bei 1,53 g Phosphorsäureanhydrid in den ersten 3 Versuchen eine klare Ablehnung, in den folgenden 5 ein indifferentes Verhalten (S. 518). Wie diese 4 Fälle zeigen, kann die Schwankung in negativ-positiver Richtung oder auch umgekehrt laufen. Dabei ist nicht unwahrscheinlich, daß die vorausgehenden Verhältnisse, also entweder Blattfütterung oder Versuche mit anderen Geschmackstoffen, die Disposition der Würmer beeinflußt haben oder daß eine „Ermüdung" oder „Umstimmung" der Sinnesorgane stattgefunden hat (bes. bei Zitronensäure, Traubensäure und Phosphorsäureanhydrid, s. dazu v. FRISCH, 1934, p. 26). Ähnliche Verhältnisse wurden auch bei den Blattversuchen (MANGOLD, 1951, p. 506) und bei den später mitzuteilenden Versuchen mit Salzen beobachtet.

V. Versuche mit Süßstoffen.

An Süßstoffen wurden Traubenzucker (Glukose), Rohrzucker (Saccharose) und Saccharin (Dulcin KAHLBAUM) verwendet. Die Versuche mit Traubenzucker gehörten zu den ersten im Jahr 1924 angestellten systematischen Geschmacksversuchen. Sie zeigten, daß sehr hohe Konzentrationen notwendig sind, um eine klare Reaktion der Würmer zu erzielen. Im Jahr 1926 folgten dann die Versuche mit Rohrzucker und schließlich in den Jahren 1931 und 1932 die Versuche mit Saccharin. Glukose und Saccharose wurden auch direkt verglichen. Saccharin wurde vielfach dazu verwendet, das Verhalten der Würmer gegen kombinierte Geschmacksstoffe zu untersuchen. Bei Saccharose und Saccharin wurden isomolekulare Mengen verwendet, die den bei Kochsalz benützten entsprechen.

1. Glukose (Traubenzucker) im Vergleich mit reiner Gelatine (Tab. 11).

Das Verhalten der Würmer gegen Glukose ($C_6H_{12}O_6$) wurde in den Konzentrationen 12 g, 24 g, 48 g, 96 g und 6 g auf 100 g Wasser und 20 g Gelatine in der angeführten Reihenfolge untersucht. Die Lösung des Zuckers in Wasser und der Zusatz der Gelatine machten trotz der teilweise sehr hohen Konzentration keine besonderen Schwierigkeiten. Zu beachten ist aber, daß

die Lösungen nicht anbrennen und damit ihr Reizwert geändert wird. Die hohen Konzentrationen (besonders 96 g) wiesen eine syrupartige Konsistenz auf. Alle Versuche wurden im Sommer 1924 im Lauf von 7 Wochen ohne Unterbrechung mit denselben Terrarien (A, B, C, D) durchgeführt. Stets wurde mit reiner Gelatine verglichen. — Im Frühjahr 1925 wurde noch probeweise ein Tagesversuch mit 1,2 g Glukose angestellt.

In einer im Anschluß an die Saccharose-Versuche geschilderten Versuchsgruppe wurden Saccharose und Glukose direkt verglichen (S. 546).

Die kalte Glukose-Gelatine schmeckte für die Versuchsperson in der 6-g-Konzentration noch deutlich süß; in der 1,2-g-Konzentration war der Süßgeschmack im warmen Zustand noch spürbar, im kalten aber nicht mehr.

a) 12 g Glukose im Vergleich mit reiner Gelatine (Tab. 11).

Mit 12 g Glukose wurden mit 3 Wochen Abstand 2 starke Versuchsgruppen durchgeführt, die 1. (a_1) vom 9.—18./7. 1924 und die 2. (a_2) vom 6.—16./8. 1924. Bei beiden arbeiteten dieselben Würmer. Sie wurden damals noch in gläsernen Gefäßen, den gewöhnlichen kubischen Aquarien, gehalten, die sehr reichlich mit Würmern und mit Geschmackstoffträgern beschickt wurden und deren Erde meist ziemlich feucht war. Die 12 g-Glukose-Gelatine schmeckte deutlich süß. Die Ergebnisse der beiden Versuchsgruppen sind etwas verschieden.

a_1) In der 1. Versuchsgruppe (Prot. 16a, b, 20A) wurden 9 Tagesversuche mit je 2 bzw. 3 Terrarien durchgeführt. Vorausgegangen war eine Pause von ca. 3 Wochen. Die Einziehtätigkeit war gut (Ind. 9,6). Die Zahlenverhältnisse der Tagesversuche waren reine Gelatine : Glukose 5:13, 10:21, 16:8, 2:10, 2:6, 13:15, 16:16, 18:20, 13:16. Für Glukose waren also 7 positiv, 1 negativ und 1 indifferent. Von den Terrarienergebnissen waren 15 positiv, 6 negativ und 1 indifferent. Die Gesamtzahl der Einziehungen betrug 220 im Verhältnis 95:125. Es waren also das Prozentverhältnis 43,2:56,8, die Differenz der Prozente +13,6, 2 M = 6,7 und P = 0,15. — Bei schwankenden Zahlenverhältnissen ergab sich also eine leichte Bevorzugung der 12-g-Glukose-Gelatine vor der reinen Gelatine, die aber statistisch nur mit 85 % Wahrscheinlichkeit gesichert ist.

a_2) Die 2. Versuchsgruppe wurde als Prüfung der ersten angesetzt (Prot. 20, 21, 20A). Sie umfaßt 10 Tagesversuche mit je 3 Terrarien. Die Einziehtätigkeit war ausgezeichnet (Ind. 19,6). Die Würmer hatten vielfach ihre Höhlen weit verlassen und bei wechselnder Oberflächenfeuchtigkeit Exkrementhaufen abgesetzt. Vorausgegangen war eine Versuchsgruppe mit 96 g Glukose. Die Zahlenverhältnisse der Tagesversuche waren: 28:36, 32:29, 36:37, 15:22, 12:17, 26:26, 25:32, 22:23, 29:25, 31:27. Es waren also 6 positiv, 3 negativ und 1 indifferent für Glukose. Von den Terrarienresultaten waren 17 positiv und 13 negativ. Insgesamt waren 530 Geschmacksstoffträger eingezogen worden, und zwar 256 auf der Gelatine- und 274 auf der Glukoseseite. Daraus errechneten sich die Prozentverhältnisse 48,3:51,7, die Prozentdifferenz +3,4, 2 M = 4,3 und P = 0,44. — In dieser Versuchsgruppe wurde die 12 g-Glukose-Gelatine der reinen Gelatine gleich gewertet.

Die beiden Versuchsgruppen mit 12 g Glukose sind also etwas verschieden ausgefallen. Ihre Maßzahlen sind wohl beide positiv (+13,6 und +3,4); aber die der 2. Versuchsgruppe liegt innerhalb von 2 M. Doch liegen bei ihr die gesamten Zahlen derart, daß sie für eine leichte Bevorzugung der Glukose sprechen. Zieht man beide Versuchsgruppen zusammen, so erhält man als Gesamtzahl der Einziehungen 750, und zwar im Verhältnis r. Gel. : Glukose-Gel. 351:399, das Prozentverhältnis 46,8:53,2, die Prozentdifferenz +6,4, 2 M = 3,6 und P = 0,056. — Jedenfalls kann geschlossen werden, daß die 12-g-Glukose-Gelatine von der reinen Gelatine geschmacklich wohl unterschieden, daß sie aber der reinen Gelatine nur wenig vorgezogen wird.

b) 24 g Glukose im Vergleich mit reiner Gelatine (21.—23./7. 1924, Prot. 17, 17 A, Tab. 11).

Die geringe Reaktion, welche die Würmer auf die schon recht hohe Konzentration von 12 g Glukose zeigten, veranlaßte, sofort an die Versuchsgruppe a_1 anschließend, denselben Würmern 24 g Glukose vorzusetzen. Bei guter Einziehleistung (Ind. 12,8) wurden 3 Tagesversuche durchgeführt. Sie ließen bei geringen Schwankungen erkennen, daß keine besonderen Ausschläge zu erwarten waren (18:19, 25:17, 22:27). 2 der Ergebnisse waren positiv und 1 negativ für

Glukose. Von den 10 Terrarienresultaten waren 6 positiv und 4 negativ. Die Gesamtzahl der Einziehungen war 128, das gesamte Zahlenverhältnis 65:63, das Prozentverhältnis 50,8:49,2 die Prozentdifferenz —1,6, 2 M = 8,8 und P = 0,58. — Die 24-g-Glukose-Gelatine wurde der reinen Gelatine gleich gewertet.

c) 48 g Glukose im Vergleich mit reiner Gelatine (24.—27./7. 1924. Prot. 18, 18 A, Tab. 11).

Für die neuen, mit denselben Terrarien ausgeführten und direkt anschließenden Versuche wurde die Konzentration auf 48 g Glukose verdoppelt. Die 4 Tagesversuche ergaben bei guter Einziehtätigkeit (Ind. 12,3) eine sehr starke, gleichförmige Ablehnung der Glukoseseite. Ihre Zahlenverhältnisse waren 16:9, 32:5, 27:6, 22:6. Von den Terrarienresultaten waren 2 positiv und 9 negativ für Glukose. Es waren ferner die Gesamtzahl der Einziehungen 123, das gesamte Zahlenverhältnis 97:26, das Prozentverhältnis 78,9:21,1, die Prozentdifferenz - 57,8, 2 M = 7,4 und $P = 10^{-10}$. — Die 48-g-Glukose-Gelatine wurde im Vergleich mit reiner Gelatine sehr stark abgelehnt.

d) 96 g Glukose im Vergleich mit reiner Gelatine (2.—5. 8. 1924. Prot. 19, 19 A, Tab. 11).

Um festzustellen, ob die Ablehnung sich weiter verstärke, wurden in den direkt anschließenden Versuchen denselben Würmern 96 g Glukose in 100 g Wasser und 20 g Gelatine vorgelegt. Die Einziehleistung sank auf 8,8. 3 Tagesversuche hatten negative Zahlenverhältnisse, nämlich 17:3, 29:9, 20:1. Auch alle 9 Terrarienergebnisse waren negativ für Glukose. Insgesamt waren 79 Träger im Verhältnis 66:13 eingezogen worden. Es waren demnach das Prozentverhältnis 83,5:16,5, die Prozentdifferenz —67,0, 2 M = 8,3 und $P = 10^{-9}$. — Die 96-g-Glukose-Gelatine wurde im Vergleich mit reiner Gelatine sehr stark abgelehnt.

e) 6 g Glukose im Vergleich mit reiner Gelatine (17.—27. 8. 1924. Prot. 22—22 A. Tab. 11).

Im Anschluß an die 96-g-Versuche wurde die oben schon berichtete Versuchsgruppe mit 12 g Glukose durchgeführt und dann noch eine Gruppe mit 6 g angeschlossen. Die kalte 6-g-Glukose-Gelatine schmeckt für den Menschen noch süß. Terrarien und Würmer waren dieselben, der Einziehindex 8,4. 8 Tagesversuche ergaben folgende schwankende Zahlenverhältnisse: 21:19, 12:18, 14:21, 14:14, 16:13, 6:18, 10:7, 18:14. Es waren also 4 positiv, 3 negativ und 1 indifferent für Glukose. Von den Terrarienergebnissen waren 11 positiv, 12 negativ und 3 indifferent. Bei einer Gesamtzahl der Einziehungen von 235 war das gesamte Zahlenverhältnis 111:124, das Prozentverhältnis 47,2:52,8, die Prozentdifferenz + 5,6, 2 M = 7,5 und P = 0,39. — Die 6-g-Glukose-Gelatine wurde der reinen Gelatine gleich gewertet, für die Annahme einer leichten Bevorzugung sprechen nur 61 % Wahrscheinlichkeit.

Schließlich wurde 8 Monate später mit anderen Würmern noch ein Tagesversuch mit 1,2 g Glukose angestellt (Prot. 61). Er hatte das Zahlenverhältnis 19:17 und zeigte, daß erwartungsgemäß auch in dieser niedrigen Konzentration die Glukose-Gelatine der reinen Gelatine gleich gewertet wird. Für die Versuchsperson war der Traubenzucker in der warmen Gelatine fast nicht und in der kalten gar nicht mehr wahrnehmbar.

Tabelle 11. Glukose (Traubenzucker) im Vergleich mit reiner Gelatine. Konzentrationen nicht isomolekular mit denen anderer Stoffe gewählt.

Konz. in g	Anzahl der		Eingezogen			Prozente		Diff. d. %	P
	Vers.	Terr.	insges.	r. Gel	Glukose	r. Gel.	Glukose		
96	3	9	79	66	13	83,5	16,5	—67,0	10^{-9}
48	4	12	123	97	26	78,9	21,1	—57,8	10^{-10}
24	3	10	128	65	63	50,8	49,2	— 1,6	0,58
12	19	50	750	351	399	46,8	53,2	+ 6,4[1]	0,056
6	8	28	235	111	124	47,2	52,8	+ 5,6	0,39

1) Ergebnis von 2 Versuchsgruppen (a_1 und a_2) im Abstand von 3 Wochen mit denselben Würmern; Prozentdifferenz bei a_1 +13,6, bei a_2 +3,4.

f) Übersicht über die Versuche Glukose : reine Gelatine (Tab. 11).

Bei der Bearbeitung der Glukose mit den 5 Konzentrationen 6 g, 12 g, 24 g, 48 g und 96 g ergab sich, daß die Glukose bis zur Konzentration von 24 g von den Würmern mit reiner Gelatine ungefähr gleich gewertet wurde. Die entsprechenden Maßzahlen waren, mit der niedrigsten Konzentration beginnend, + 5,6, + 6,4, — 1,6. In den beiden höchsten Konzentrationen wurde die Glukose-Gelatine sehr stark abgelehnt, und zwar offenbar um so mehr, je höher die Konzentration war. Die Maßzahlen waren — 57,8 und — 67,0. Die einfachste Deutung dieses Ergebnisses wäre die Annahme, daß die Würmer bis zur Konzentration von 24 g die Glukose überhaupt nicht wahrnehmen, diese Konzentrationen also unter der Reizschwelle liegen, und daß sie erst die höheren Konzentrationen spüren und dann ablehnen. Die genauere Betrachtung der Versuche zeigt aber, daß in der durch 2 Versuchsgruppen bearbeiteten 12-g-Konzentration die erste eine leichte Bevorzugung (+ 13,6) und die zweite eine Gleichbewertung der Glukose-Gelatine mit reiner Gelatine (+ 3,4) erkennen ließ. Dies läßt den Schluß zu, daß die Glukose auch in den Konzentrationen unter 24 g von den Würmern wahrgenommen wurde. Da zudem die 12-g-Konzentration eine leichte Bevorzugung erfuhr, die darunter und darüber liegenden Konzentrationen aber mit Indifferenz beantwortet wurden, ist es wahrscheinlich, daß wir mit steigender Konzentration von der Indifferenz (1,2 g und 6 g) über ein flaches Optimum (ca. 12 g) zu Indifferenz (24 g) und ansteigender Ablehnung (48 g und 96 g) gelangen. Die Reaktionsschwelle dürfte also mindestens bei der 12-g-Konzentration (etwa gleich einer Lösung von 9% oder $^2/_3$ mol) erreicht sein.

Da in den höheren Konzentrationen (besonders 96 g) die Glukose-Gelatine strukturell der reinen Gelatine nicht mehr vollständig gleich war, ist damit zu rechnen, daß bei der Ablehnung dieser Konzentrationen neben dem Geschmacksreiz auch ein Tastreiz beteiligt gewesen ist. Ein Anhaltspunkt dafür könnte vielleicht im Vergleich der Einziehleistung gefunden werden, wenn man annimmt, daß die geänderte Konsistenz den Würmern die Bearbeitung der Träger verleidet (vgl. Saccharose, S. 545). Die Einziehleistung pro Terrarium (Index) war in allen Versuchen beträchtlich. Sie betrug, wenn wir die Konzentrationen in der Reihenfolge betrachten, in der sie untersucht wurden, bei 12 g (s. 1. Versuchsgruppe) 9,6, bei 24 g 12,8, bei 48 g 12,3, bei 96 g 8,8, bei 12 g (2. Versuchsgruppe) 19,6 und bei 6 g 8,4. Die Versuchsgruppe mit 96 g hat zwar einen geringeren Einziehindex als die mit 48 g und 24 g, aber einen ungefähr ebenso hohen wie die mit 6 g und 12 g. Der Schluß, daß die höheren Konzentrationen infolge der anderen Konsistenz der Glukose-Gelatine weniger gern bearbeitet wurden, ist also nicht zulässig. — Sehr auffallend ist aber der sehr hohe Einziehindex bei der zweiten 12-g-Versuchsgruppe (19,6). Dies läßt vielleicht unter starken Vorbehalten annehmen, daß diese Konzentration den Würmern besonders angenehm gewesen ist, was ja auch schon in der leichten Bevor-

zugung vor der einen Gelatine in der 1. Versuchsgruppe (+ 13,6) seinen Ausdruck gefunden hat.

Weiterhin liegen mit Glukose direkte Vergleichsversuche vor mit isotonischen Konzentrationen von Saccharose und Kochsalz. — Der direkte Vergleich von Glukose mit Saccharose wird S. 546 besprochen (Tab. 12), die mit Kochsalz in der bald folgenden 3. Abhandlung. Vorläufig mag folgendes gesagt werden: Im Vergleich isotonischer Lösungen (1 g NaCl : 3,42 g Glukose) wird die Glukose stark vorgezogen (Prozentdifferenz für Glukose + 50,0). Der direkte Vergleich von 1 g NaCl mit 48 g Glukose ergab eine schwache Ablehnung der Glukose (Prozentdifferenz für Glukose — 12,6). Beide Ergebnisse entsprachen den Erwartungen, die die Vergleiche mit reiner Gelatine ergeben hatten.

2. Saccharose (Rohrzucker) im Vergleich mit reiner Gelatine und im Vergleich mit Glukose (Tab. 12).

Die Versuche mit Saccharose ($C_{12}H_{22}O_{11}$) wurden mit den Konzentrationen 5,78 g, 14,46 g, 28,90 g, 57,80 g und 115,60 g durchgeführt. 15,78 g entspricht der Konzentrationsstufe C der Salz- und Säure-Versuche (= 0,0171 g-mol), 14,46 g der Konzentrationsstufe B (= 0,0428 g-mol) und 28,90 g der Konzentrationsstufe A (= 0,0855 g-mol). Die Lösung der teilweise sehr großen Zuckermengen in 100 g Wasser und 20 g Gelatine ist durchaus möglich, doch bildet die höchste Konzentration einen zähen sirupartigen Brei. Die Versuche machten große Schwierigkeiten, da sie kein klares Resultat brachten und die Fehler anfangs bei der Methode gesucht wurden. Begonnen wurde mit 5,78 g. Da die Würmer nicht darauf reagierten, wurde die Konzentration auf 28,90 g gesteigert. Überraschenderweise ergab auch diese hohe Konzentration kein klares und einfaches Resultat. Der Versuch mit ihr wurde deshalb lange fortgesetzt und einige Monate später mit neuen Würmern noch einmal wiederholt. Dann wurde die Konzentration auf 57,80 g verdoppelt. Die Würmer verhielten sich indifferent. Nun wurde zurückgegangen auf 14,46 g; aber auch hierbei ergab sich keine klare Bevorzugung oder Ablehnung. Schließlich wurde noch mit der abnorm hohen Konzentration von 115,60 g, d. h. einer etwa 50 %igen Lösung gearbeitet. Sie wurde sehr ungern genommen und stark abgelehnt. — Infolge der unsicheren Ergebnisse wurden die Versuche mit Saccharose nicht in einem Zug durchgeführt, sondern, um eine etwaige Kontrastwirkung oder Gewöhnung zu erfassen, häufig mit Chininversuchen durchsetzt.

Es wurde anfangs mit 4 und dann mit 3 Terrarien gearbeitet. Vor dem 14,46-g-Versuch wurden die Terrarien mit frischgefangenen Würmern besetzt (12./4. 1926). Die vorher benützten hatten mindestens über den Winter 1925/1926, also ca. 6 Monate, im Versuch gestanden.

Bei der Hauptmasse der Versuche wurde mit reiner Gelatine verglichen. In einer Versuchsgruppe wurden aber auch Glukose und Saccharose direkt

einander gegenübergestellt. — Die Reihenfolge der Beschreibung entspricht im wesentlichen der der Ausführung.

a) 5,78 g Saccharose im Vergleich mit reiner Gelatine (19.—28. 1. 1926, Prot. 154—159, Tab. 12).

Den Versuchen mit 5.78 g Saccharose (C = 0,0171 g-mol) waren solche mit 0.2 g Chinin (Maßzahl —38.3) unmittelbar vorausgegangen. Bei beiden standen dieselben Terrarien (I—IV) im Versuch. Die Saccharose war in der kalten Gelatine noch gut zu schmecken. Bei guter Einziehtätigkeit (Ind. 10.4) wurden 6 Tagesversuche durchgeführt. Nach dem 2. und 4. war jeweils ein Tagesversuch mit 0,2 g Chinin eingeschaltet worden (S. 505). Die Zahlenverhältnisse der Tagesversuche waren 20:16, 28:23. — 16:10, 19:20. — 16:24, 27:30. Die in den ersten 3 Versuchen sich andeutende schwache Ablehnung wurde durch die 3 weiteren ausgeglichen. Von den Ergebnissen der einzelnen Terrarien waren 11 positiv, 11 negativ und 2 indifferent. Weiterhin waren die Gesamtzahl der Einziehungen 249, das gesamte Zahlenverhältnis 126:123, das Verhältnis der Prozente 50,6:49,4, die Prozentdifferenz —1,2, 2 M = 6.3 und P = 0.78. — Die 5.78-g-Saccharose-Gelatine wurde der reinen Gelatine gleich gewertet.

b) 28,9 g Saccharose im Vergleich mit reiner Gelatine (Tab. 12).

Mit 28.9 g Saccharose (A = 0,0855 g-mol) wurden 2 Versuchsgruppen durchgeführt, die erste (1) vom 30./1.—12./2. 1926, die zweite (2) vom 5.—12./5. 1926. Die Würmer waren in der Zwischenzeit erneuert worden. Die 28.9 g-Saccharose-Gelatine schmeckte im kalten Zustand stark süß.

1. Versuchsgruppe 1 (Prot. 162—166).

Bei der 1. Versuchsgruppe traten beträchtliche Unklarheiten auf. Sie wurde daher auf 12 Tagesversuche ausgedehnt, die in einer Serie durchgeführt wurden. Nach den ersten 3 Versuchen schienen die Verhältnisse klar: sie zeigten alle eine deutliche Bevorzugung der Saccharose. Der 4. Versuch machte jedoch stutzig und veranlaßte die Weiterführung der Versuche. Die Versuche 4—7 ergaben dann ein ungefähr indifferentes Verhalten. Schließlich wurden (nach Einschaltung eines Tagesversuches, bei dem beide Trägerseiten mit 28.9 g-Saccharose-Gelatine überzogen waren) noch 5 weitere Tagesversuche angeschlossen, um festzustellen, ob etwa noch eine Ablehnung der Saccharose erzielt werden könne. Sie brachten aber wieder eine leichte Bevorzugung der Saccharose-Seite. Ich betrachte zuerst die Versuchsgruppe als Ganzes und dann die 3 verschiedenen Abschnitte. — Die Würmer der 4 Terrarien zogen sehr gut ein (Ind. 13.0). Die Zahlenverhältnisse der 12 Tagesversuche waren 11:47, 17:30, 10:26. — 23:18, 24:37, 44:37, 39:36, — 25:19, 21:23, 17:31, 21:24, 18:24. Von den Tagesversuchen waren also 8 positiv und 4 negativ für Saccharose, von den einzelnen Terrarienergebnissen 26 positiv und 19 negativ. Die Gesamtzahl der Einziehungen war 622, davon 270 für reine Gelatine und 352 für Saccharose. Es waren demnach das Prozentverhältnis 43,4:56.6, die Prozentdifferenz + 13.2, 2 M = 3.3 und P = 0.001. — Die gesamte 1. Versuchsgruppe ergab also eine schwache Bevorzugung der 28.9-g-Saccharose-Gelatine vor der reinen Gelatine. — Von dem stark schwankenden Ergebnis der Versuchsgruppe erhält man aber erst den richtigen Eindruck, wenn man die 3 schon erwähnten Unterabteilungen betrachtet.

1a) Die ersten 3 Versuche waren alle stark positiv für Saccharose: sogar alle 12 Terrarienergebnisse waren positiv. Es waren die gesamte Einziehzahl 141, das gesamte Zahlenverhältnis 38:103, das Prozentverhältnis 27,0:73.0, die Prozentdifferenz + 46.0, 2 M = 7.5 und $P = 10^{-7}$. — Die ersten 3 Tagesversuche ergaben also eine eindeutige starke Bevorzugung der 28.9-g-Saccharose-Gelatine vor der reinen Gelatine.

1b) Die nächsten 4 Tagesversuche zeigten beträchtliche Schwankungen: 1 war positiv und 3 negativ für Saccharose. Von den Terrarienergebnissen waren 3 positiv und 10 negativ. Die Gesamtzahl der Einziehungen betrug 258, das gesamte Zahlenverhältnis 130:128. Daraus errechnete sich das Prozentverhältnis 50,4:49.6, die Prozentdifferenz — 0.8, 2 M = 6.2 und P = 0.90. — In diesen 4 Tagesversuchen wurde die 28.9-g-Saccharose-Gelatine mit der reinen Gelatine gleich gewertet.

1c) Von den letzten 5 Tagesversuchen waren 5 positiv und 1 negativ für Saccharose, von den Terrarienresultaten 11 positiv und 9 negativ. Die Gesamtzahl der Einziehungen war 223, das Zahlenverhältnis 102:121, das Prozentverhältnis 45,7:54.3, die Prozentdifferenz + 8.6, 2 M = 6,7 und P = 0.1. — In diesen Versuchen wurde die 28,9-g-Saccharose der reinen Gelatine wahrscheinlich leicht vorgezogen.

Der zwischen 1b und 1c eingeschaltete Tagesversuch, bei dem beide Trägerseiten mit 28,9 g Saccharose-Gelatine überzogen waren (Prot. 167), ergab das Zahlenverhältnis 24:28 und

den Einziehindex 13,0. Die vollständige Bedeckung der Geschmacksstoffträger mit der Saccharose-Gelatine hatte also in der Konz. 28.9 g die Einziehfreudigkeit der Würmer nicht beeinflußt.

Die Ursachen für die großen Schwankungen im Rahmen der Versuchsgruppe wurden natürlich zuerst bei der Methode gesucht. Es wurde damit gerechnet, daß die Träger selbst den Zuckergeschmack annehmen, und daß infolge des täglichen Seitenwechsels schließlich die ganzen Träger süß schmecken. Dies ist sehr unwahrscheinlich, da die Träger täglich durch Auskochen sorgfältig gereinigt wurden und getrocknet den neuen Überzug mit reiner Gel. und Saccharose-Gel. erhielten. Auch wurden bei den letzten Versuchen (1c) frische Träger verwendet, ohne daß sich die starke Bevorzugung der ersten Tagesversuche wieder herstellte. — Ferner wurde daran gedacht, daß die durch den Zuckerzusatz etwas klebrig gewordene Saccharose-Gelatine von den Würmern beim Abtasten und Einspeicheln über die ganzen Träger gestrichen und dadurch die Geschmacksdifferenz ausgeglichen würde, was besonders durch höhere, dem Schmelzpunkt der Gelatine nahegelegene Temperaturen begünstigt werden könnte. Diese Annahme ist, da die Würmer sehr viel Speichel bei der Einziehtätigkeit abgeben, an und für sich nicht wahrscheinlich. Aber auch der Verdacht hinsichtlich der Temperatur war unberechtigt. Diese war allerdings verhältnismäßig hoch, wurde aber dann durch Abstellen der Zentralheizung ermäßigt. Die ersten Versuche (1a) liefen bei 20—20.5° C, die zweiten (1b) bei 21—15° C, und die dritten (1c) bei 17—18.5° C. — Schließlich wurde noch in Erwägung gezogen, ob nicht bei starker Einziehtätigkeit die Gelatine abgeleckt und damit die Geschmacksdifferenz ausgeglichen würde. Wenn man den Einziehindex als Maß für die Intensität der Bearbeitung der Nadeln nimmt, was mit gewissen Vorbehalten zulässig ist, so findet man, daß diese Möglichkeit nicht zutreffen kann. Der Einziehindex ist zwar bei den Versuchen von 1b recht hoch (16.1), bei denen von 1a und 1c, deren Maßzahlen sich ja beträchtlich unterscheiden (+ 46.8 und + 8.6) aber ungefähr gleich, nämlich 11.6 bzw. 11.1. — Da wir nicht annehmen können, daß bei der Herstellung der Saccharose-Gelatine und dem Überziehen der Träger Fehler vorgekommen sind, müssen wir schließen, daß die Würmer selbst in ihrem Verhalten zu der 28.9-g-Saccharose-Gelatine recht schwankend gewesen sind, und daß sie diese anfangs stark bevorzugten, dann sich aber mehr indifferent verhielten. Zu einer Ablehnung hat die weitere Fortsetzung der Versuche in 1c aber nicht geführt. Nicht unmöglich ist, daß die Bevorzugung in 1a durch die vorangegangenen Chininversuche mit verursacht wurde.

Die Versuche haben auch Gelegenheit gegeben, das Verhalten der 4 Terrarien (I—IV) zu prüfen. In der Gruppe 1a haben alle 4 Terrarien die Saccharose vorgezogen; in 1b und 1c sind die Versäitnisse bei den verschiedenen Terrarien aber etwas verschieden. Zieht man die Zahlen von 1a, 1b und 1c für jedes Terrarium zusammen, so findet man bei den Terr. I, II und IV die Zahlenverhältnisse 73:96, 58:79, 74:109 und die Prozentdifferenzen + 13.6, + 15.4 und + 19.2, also eine deutliche Bevorzugung der Saccharose, bei Terr. III dagegen nur das Zahlenverhältnis 65:68 und die Prozentdiff. + 2.2, also eine so schwache Bevorzugung, daß sie einer Indifferenz gleichkommt. Wenn die Zahlen auch relativ klein sind, so legen sie doch den Schluß nahe, daß im Verhalten gegen die 28.9-g-Saccharose-Gelatine die in den Terrarien enthaltenen Wurmgruppen und damit wohl auch die Individuen etwas verschieden waren, was wohl nicht unwahrscheinlich ist.

In der Versuchsgruppe 1 hat sich der Verdacht, daß die längere Fortsetzung der Versuche schließlich zu einer Ablehnung der Saccharose führen könnte, in 12 Tagesversuchen nicht bewahrheitet. Ein ablehnendes Verhalten zu 28.9 g Saccharose ist aber doch möglich. Dies zeigt die nun zu beschreibende Versuchsgruppe 2.

2. Versuchsgruppe 2 (Prot. 199—201).

Die 2. Versuchsgruppe mit 28.9 g Saccharose wurde vom 5.—12./5. 1926 mit 3 Terrarien durchgeführt, die 4 Wochen vorher mit frischen Würmern besetzt worden waren. Unmittelbar voraus ging wieder eine Versuchsgruppe mit 0.5 g Chinin (S. 504). 6 Tagesversuche wurden bei sehr guter Einziehtätigkeit (Ind. 14.7) angestellt. Ihre Zahlenergebnisse waren 13:15, 20:21, 31:13, 28:15, 34:24, 24:16. Die ersten beiden waren schwach positiv, die 4 weiteren deutlich negativ. Von den Terrarienergebnissen waren 4 positiv, 13 negativ und 1 indifferent. Die Gesamtzahl der Einziehungen betrug 254, und zwar im Verhältnis reine Gelatine : Saccharose 150:104. Daraus berechneten sich das Prozentverhältnis 59.1:40.9, die Prozentdifferenz — 18.2, $2M = 6.2$ und $P = 0.004$. — In dieser Versuchsgruppe wurde die 28.9 g-Saccharose-Gelatine deutlich weniger gern genommen als die reine Gelatine.

Die beiden Versuchsgruppen veranschaulichen deutlich das schwankende Verhalten der Würmer gegenüber der Saccharose. Die Schwankung liegt zwischen + 46.0 und — 18.2. Beide Versuchsgruppen haben gemeinsam, daß die ersten Versuche etwas anders ausgefallen sind als die weiteren, und zwar günstiger für Saccharose, und daß jeder Chininversuche vorausgegangen sind. *Eine Kontrastwirkung ist daher nicht unwahrscheinlich.* In der 1. Versuchsgruppe zeigen auch die 4 Terrarien bei allgemein gleicher Tendenz ein etwas verschiedenes Verhalten, was auf eine *individuell verschiedene Disposition für Saccharose* hinweist. Der Gang der Versuche läßt den sicheren Schluß zu, daß die 28.9-g-Saccharose-Gelatine

von der reinen Gelatine gut unterschieden wird, auch da, wo die Einziehergebnisse für beide ungefähr gleich sind.

Zieht man schließlich beide Versuchsgruppen zusammen, so erhält man als Gesamtzahl der Einziehungen 876, als Zahlenverhältnis 420:456, als Prozentverhältnis 47,9:52,1, als Differenz der Prozente +4,2, 2 M = 3,8 und P = 0,22. — Von 18 Tagesversuchen waren 10 positiv, 8 negativ, von 63 Terrarienergebnissen 30 positiv, 32 negativ und 1 indifferent für Saccharose. Die Einziehleistung war recht gut (Ind. 13,3). — Eine geringe Bevorzugung der 28,9-g-Saccharose-Gelatine vor der reinen Gelatine ist auch hier noch wahrscheinlich. Die statistische Sicherung beträgt aber nur 78 %.

c) 57,80 g Saccharose im Vergleich mit reiner Gelatine (20.—27./2. 1926. Prot. 117—182, Tab. 12).

Als nächste Konzentration wurde 57,80 g Saccharose gewählt. Ihre Gelatinelösung schmeckte sehr süß. Voraus ging wieder eine Versuchsgruppe mit Chinin (1,0 g). In Arbeit standen dieselben 4 Terrarien (I—IV), die bei der Versuchsgruppe 1 mit 28,9 g Saccharose verwendet worden waren. Ihre Würmer zogen recht gut ein (Ind. 11,6). 8 Tagesversuche wurden durchgeführt. Ihre Zahlenverhältnisse waren 35:16, 25:54, 26:28, 31:28, 11:8, 26:15, 15:15, 18:19. Die Schwankungen waren bei den ersten beiden Tagesversuchen sehr beträchtlich, sonst mäßig. 3 Tagesversuche waren positiv, 4 negativ und 1 indifferent. Von den Terrarienergebnissen waren 15 positiv, 16 negativ und 1 indifferent. Ferner waren die Gesamtzahl der Einziehungen 370, das gesamte Zahlenverhältnis 187:183, das Prozentverhältnis 50,5:49,5, die Prozentdifferenz —1,0, 2 M = 5,2 und P = 0,52. — Die 57,8-g-Saccharose-Gelatine wurde der reinen Gelatine gleich gewertet. Besonders schwankend waren die ersten beiden Tagesversuche. Auch sie machen es wahrscheinlich, daß die Würmer die Saccharose wahrnehmen.

d) 14,46 g Saccharose im Vergleich mit reiner Gelatine (12.—26. 4. 1926. Prot. 190—195, Tab. 12).

Die Versuche mit 14,46 g Saccharose (B = 0,0428 g-mol) wurde mit frisch gefangenen Würmern durchgeführt (Terr. I—III). Sie zogen gut ein (Ind. 12,7). Mit Hinblick auf die Unsicherheit des Verhaltens der Würmer wurden 11 Tagesversuche durchgeführt. Sie zeigten mäßige Schwankungen und ergaben die Zahlenverhältnisse 17:12, 17:15, 26:28, 18:23, 14:19, 14:21, 15:19, 18:26, 19:26, 26:19, 25:27. Für Saccharose waren von den Tagesergebnissen also 8 positiv und 3 negativ, und von den 35 Terrarienresultaten 15 positiv, 13 negativ und 6 indifferent. Insgesamt wurden eingezogen 444, davon 209 auf der Seite der reinen Gelatine und 235 auf der der Saccharose. Ferner waren das Prozentverhältnis 47,1:52,9, die Prozentdifferenz +5,8, 2 M = 4,7 und P = 0,22. — Die 14,46-g-Saccharose-Gelatine wurde der reinen Gelatine ungefähr gleich gewertet, wahrscheinlich ein wenig vorgezogen. Der Ablauf der Versuche gibt aber keinen Anhaltspunkt für die Annahme, daß die Saccharose in dieser Konzentration wahrgenommen wurde.

e) 115,6 g Saccharose im Vergleich mit reiner Gelatine (18./5.—2. 6. 1926. Prot. 202—206, Tab. 12).

Zum Abschluß der Saccharose-Versuche wurde die Konzentration noch auf 115,6 g erhöht: das entsprach einer 50 %igen Lösung. Die Saccharose-Gelatine war dabei klebrig und schmierig geworden und schmeckte sehr süß. Unmittelbar voraus ging die oben dargestellte Versuchsgruppe 2 mit 28,9 g Saccharose. In Arbeit standen die Terr. I—III, die bisher bei 2 Saccharose- und 1 Chinin-Versuchsgruppe Verwendung gefunden hatte. Überraschenderweise zogen die Würmer nur schlecht ein (Ind. 4). Daher wurden nur 5 Tagesversuche durchgeführt und diese nach dem zweiten Versuch durch einen Tagesversuch mit reiner Gelatine : reiner Gelatine, und nach dem dritten durch eine 10tägige Blätterfütterung unterbrochen. Die Zahlenverhältnisse der 5 Tagesversuche waren 9:5, 8:4, —14:5, —5:1, 6:3. Alle waren negativ für Saccharose. Die Gesamtzahl der Einziehungen betrug 60, das gesamte Zahlenverhältnis 42:18, das Prozentverhältnis 70:30, die Prozentdifferenz —40,0, 2 M = 11,8 und P = 10^{-4}. — Die sirupartige 115,6 g-Saccharose-Gelatine wurde sehr ungern eingezogen und im Vergleich mit reiner Gelatine stark abgelehnt.

Die Ursachen der schlechten Einziehung lagen offensichtlich in der klebrigen Schmierigkeit der hochkonzentrierten 115,6-g-Saccharose-Gelatine. Dies ergibt sich aus der Betrachtung der Einziehindices des unmittelbar voraus-

gehenden Versuches mit 28,9 g Saccharose (13,3), des eingeschalteten Versuchs r. Gel.: r. Gel. (12,4) und des umittelbar folgenden Versuchs mit 2 ccm konzentrierter Salzsäure (11,7). Trotz der sehr verschiedenartigen Geschmacksstoffe, von denen zudem die Salzsäure stark abgelehnt wurde, war doch die Einziehleistung ziemlich konstant geblieben. Die schlechte Einziehung der 115,6-g-Saccharose-Gelatine wurde also offensichtlich durch die hohe Konzentration der Saccharose verursacht. Bei dieser kann es aber nicht der für die Würmer offenbar unangenehme Geschmack sein, denn auch die stark abgelehnte Säure wurde sehr gut eingezogen, sondern der physikalische Zustand, d. h. die Klebrigkeit. Auf den Geschmack ist höchstwahrscheinlich die starke Ablehnung der Saccharose-Seite (—40,0) zurückzuführen.

f) 17,05 g Glukose und 28,90 g Saccharose im direkten Vergleich (13.—17. 2. 1926, Prot. 171—173, Tab. 12).

In unmittelbarem Anschluß an die 1. Versuchsgruppe mit 28,9 g Saccharose, und zwar speziell dem Teil 1c (S. 543), wurden noch mit denselben Würmern isomolekulare Lösungen in der Konz.-Stufe A (0,0855 g-mol) von Glukose und Saccharose direkt verglichen. Die eine Querhälfte der Geschmacksstoffträger wurde mit 17,05 g-Glukose-Gelatine, die andere mit 28,90 g Saccharose-Gelatine überzogen. Die Saccharose-Gelatine schmeckte viel süßer als die Glukose-Gelatine. 3 Tagesversuche ergaben bei guter Einziehleistung (Ind. 12,1) die Zahlenverhältnisse Glukose zu Saccharose 22:32, 17:19, 19:36. Alle 3 waren also positiv für Saccharose; von den Terrarienergebnissen waren 9 positiv, 2 negativ und 1 indifferent. Ferner waren die Gesamtzahl der Einziehungen 145, das gesamte Zahlenverhältnis Glukose : Saccharose 58:87, das Prozentverhältnis 40,0:60,0, die Prozentdifferenz +20,0 für Saccharose. 2 M = 8,1 und P = 0,02. — Die isomolekularen Mengen 17,03 g Glukose und 28,90 g Saccharose je in 100 g Wasser und 20 g Gelatine gelöst wurden also im direkten Vergleich klar unterschieden, und zwar wurde die für den Menschen süßer schmeckende Saccharose vorgezogen. Vergleichsversuche mit reiner Gelatine liegen mit 17,03 g Glukose nicht vor. Mit der etwas höher liegenden Konzentration von 24 g wurde die Maßzahl —1,6 erzielt; bei der etwas tiefer liegenden von 12 g ergab sich in 2 Versuchsgruppen zusammen eine schwache Bevorzugung (+6,4). Die 17,03-g-Glukose-Gelatine dürfte also im Vergleich mit reiner Gelatine wahrscheinlich gleich gewertet oder schwach bevorzugt werden. Die 28,9-g-Saccharose-Gelatine hatte im Vergleich mit reiner Gelatine ein sehr schwankendes Verhalten der Würmer ergeben (S. 543); in der unmittelbar vorausgehenden Versuchs-

Tabelle 12. Saccharose (Rohrzucker) im Vergleich mit reiner Gelatine und im direkten Vergleich mit Glukose.

Konz. in g	Anzahl der Vers.	Anzahl der Terr.	Eingezogen insges.	Eingezogen r. Gel.	Eingezogen Saccharose	% r. Gel.	% Saccharose	Diff. d. %	P
115,60	5	15	60	42	18	70,0	30,0	—40,0	10^{-6}
57,80	8	32	370	187	183	50,5	49,5	— 1,0	0,52
A=28,9	18	66	876	420	456	47,9	52,1	+ 4,2[1]	0,22
B=14,46	11	35	444	209	235	47,1	52,9	+ 5,8	0,22
C= 5,78	6	24	249	126	123	50,6	49,4	— 1,2	0,78
			Direkter Vergleich Glukose : Saccharose						
				Gluk.	Sacch.	Gluk.	Sacch.	f. Sacch.	
A : 17,05 Gluk.: 28,90 Sacch.			145	[illegible]	[illegible]	[illegible]	60,0	+20,0	0,02

1) Ergebnis von 2 Versuchsgruppen (1 und 2): die erste Versuchsgruppe stark schwankend, ihre 3 Abschnitte (1 a, 1 b, 1 c) mit den Prozentdifferenzen +46,0, —0,8, +8,6; die 2. Versuchsgruppe ebenfalls schwankend mit der Prozentdifferenz —18,2.

Gruppe 1c war sie schwach bevorzugt worden (+ 8,6). Ihre Bevorzugung vor der 17,03-g-Glukose ist nicht überraschend, da ja Saccharose bis in wesentlich höhere Konzentrationen lieber genommen wird als Glukose.

g) Übersicht über die Versuche Saccharose : reine Gelatine (Tab. 12).

Betrachtet man die Ergebnisse aller Vergleichsversuche von Saccharose mit reiner Gelatine, so findet man, bei der niedrigsten Konzentration beginnend, die Maßzahlen — 1,2 für 5,78 g, + 5,8 für 14,46 g, + 4,2 für 28,9 g, — 1,0 für 57,80 g und — 40,0 für 115,6 g. Im ganzen betrachtet wird von den Würmern die Saccharose-Gelatine in den Konzentrationen bis 57,80 g, d. h. bis zu einer etwa 30 %igen Lösung, der reinen Gelatine ungefähr gleich gewertet, und in der nächst höheren Konzentration, die ungefähr einer 50 %igen Zuckerlösung entspricht, stark abgelehnt. Wenn uns nur die Maßzahlen zur Verfügung stünden, so könnte man annehmen, daß die Saccharose bis zur 57,80-g-Konzentration nicht wahrgenommen und in den höheren Konzentrationen abgelehnt werde. Der Ablauf der Versuche zeigt jedoch so starke Schwankungen im Verhalten der Würmer, daß die Wahrnehmung des Zuckers auch in den niedrigeren Konzentrationen nicht zweifelhaft sein kann. Dies trifft besonders für die 28,9-g-Konzentration zu, die ungefähr einer 20 %igen Lösung entspricht. Bei ihr lassen sich Versuchsgruppen zusammenfassen, deren Maßzahlen zwischen + 46,0 und — 18,0 liegen. Bei der 14,46-g-Konzentration deutet die knapp über 2 M liegende Maßzahl + 5,8 (P = 0,22) noch auf eine schwache Bevorzugung der Zuckerseite hin, die natürlich ebenfalls eine Wahrnehmung voraussetzt. Auffallend war dabei vielleicht, daß in den beiden ersten Versuchen die Einziehtätigkeit etwas geringer als in den späteren gewesen ist, was aber, da ganz frische Würmer benützt wurden, nicht notwendig mit der Wahrnehmung des Zuckers im Zusammenhang zu stehen braucht. Die 5,78-g-Konzentration mit der Maßzahl — 1,52 gab keinen Anhaltspunkt für die Wahrnehmung des Zuckers. Die Reaktionsschwelle kann also etwa bei der 14,46-g-Konzentration (etwa gleich einer Lösung von 11 % oder 1/3 mol) angenommen werden. Die höchsterprobte 115,6-g-Konzentration, die nahezu eine 50 %ige Zuckerlösung darstellt, wurde — wie schon ausgeführt — schlecht eingezogen (Ind. 4,0) und gegenüber der reinen Gelatine stark abgelehnt. Da die Einziehintensität bei Vergleichsversuchen mit reiner Gelatine im allgemeinen kaum davon beeinflußt wird, ob der zu prüfende Geschmacksstoff abgelehnt oder bevorzugt wird, ist wahrscheinlich, daß der besondere sirupartige Zustand der 115,6-g-Saccharose-Gelatine für die Herabsetzung der Einziehintensität verantwortlich zu machen ist, und daß andererseits der Geschmack die hohe Ablehnung (— 40,0) bedingt. — Die durch die Zuckerbeimischung bedingte physikalische Änderung der Saccharose-Gelatine wurde offensichtlich erst bei der 115,6-g-Konzentration so wesentlich, daß die Einziehtätigkeit beeinflußt wurde. Bei den niedrigeren Konzentrationen wurde im Protokoll auch nichts Besonderes vermerkt.

Im ganzen betrachtet können wir annehmen, daß wir bei Saccharose ähnliche Verhältnisse haben wie bei vielen Säuren, d. h. daß die niedrigen Konzentrationen wie reine Gelatine gewertet werden, daß dann mit der ansteigenden Konzentration eine wachsende Bevorzugung bis zu einem Optimum erfolgt, und daß schließlich die Bevorzugung wieder abfällt und in eine steigende Ablehnung übergeht. Bei Saccharose muß aber das Optimum als sehr flach angenommen werden; es dürfte nur wenig größer als 0 sein. Es zeigt aber beträchtliche Schwankungen und liegt wohl etwa bei der 28.9-g-Konzentration.

In Anbetracht der recht hohen Konzentrationen, die bei den Saccharose-Versuchen verwendet werden mußten, ist zu beachten, daß der Zuckergeschmack beim Menschen mild und wenig durchdringend ist, und daß daher relativ hohe Konzentrationen bei den Speisen und Getränken Verwendung finden. Häufig wird der Zucker ja auch direkt hundertprozentig genossen. Offensichtlich ist der Geschmack der Saccharose auch für die Regenwürmer mild und wenig durchdringend und macht die Saccharose-Gelatine im allgemeinen nur wenig begehrenswerter als die recht beliebte reine Gelatine. Zudem wird der Zuckergeschmack durch den leimigen der Gelatine nicht unbeträchtlich gedämpft.

Bei den Schwankungen in den Versuchsgruppen waren, wie schon bei anderen Gelegenheiten beobachtet wurde, in auffallendem Maße die ersten Tagesversuche beteiligt. So zeigten die ersten 3 Tagesversuche der ersten Versuchsgruppe mit 28.9 g eine auffallende Bevorzugung der Saccharose-Gelatine. In der zweiten Versuchsgruppe mit 28.9 g waren die ersten beiden Versuchsergebnisse indifferent für Saccharose, die weiteren negativ. In der die 57.8-g-Konzentration behandelnden Versuchsgruppe war der erste Tagesversuch stark negativ, der zweite stark positiv und die weiteren ziemlich indifferent. In allen 3 Fällen waren den Versuchsgruppen Versuche mit dem stark bitter schmeckenden Chinin unmittelbar vorausgegangen. Eine Kontrastwirkung ist hier nicht unwahrscheinlich. Sie könnte im einfachsten Fall nur eine Unsicherheit gegenüber dem neuen Geschmacksstoff, in anderen Fällen eine zu günstige oder zu ungünstige Bewertung desselben bewirken. Auch mit einer Ermüdung oder Umstimmung der Sinnesorgane ist zu rechnen (s. v. Frisch 1934, S. 26).

Bei den Schwankungen gegenüber der 28.9-g-Saccharose-Gelatine in der ersten Versuchsgruppe konnte nachgewiesen werden, daß eines von den 4 verwendeten Terrarien etwas andere Einzieherergebnisse aufwies als die drei andern. Da die äußeren Bedingungen gleich gewesen sind, lag offenbar ein anderes Verhalten der Würmer des betreffenden Terrariums vor, was eine individuell verschiedene Disposition der Würmer wahrscheinlich macht.

3. Saccharin im Vergleich mit reiner Gelatine (Tab. 13).

Das Saccharin (als Dulcin von Kahlbaum bezogen) hat die Formel $C_7H_5SNO_3$, ist in Wasser wenig löslich und schmeckt ungefähr 500 mal süßer als Saccharose.

Es wurde in den Konzentrationen C = 3,13 g, D = 0,63 g, E = 0,13 g und F = 0,0313 g auf 100 g Wasser und 20 g Gelatine mit r. Gelatine verglichen. Der Versuch mit D = 0,63 g wurde dreimal durchgeführt, da diese Konzentration bei der Untersuchung kombinierter Geschmäcke Verwendung fand. Bei den höheren Konzentrationen blieb ein Teil des zugesetzen Saccharins in feinsten Kriställchen in der Gelatine suspendiert. Durch sorgfältiges Umrühren wurde eine gleichmäßige Verteilung der Kriställchen und damit auch die proportionale Steigerung der Konzentration erreicht. — Für die Versuche wurden 8 Terrarien verwendet. Ihre Würmer zogen, nachdem sie schon über 6 Monate in Versuchen mit Salzen gearbeitet hatten, sehr schlecht ein. Es wurde daher eine zweimonatliche Blattfütterung eingeschaltet, in der sie sich gut erholten. Meist kamen abwechselnd jeweils 4 Terrarien (I—IV und V—VIII) in den Versuch. In die Saccharin-Versuche wurden mehrfach Versuche mit süßer und bitterer Lupine eingeschaltet, über die schon berichtet wurde (1951, S. 490). Vor der letzten Versuchsgruppe (0,13 g) wurden noch 8 Terrarien mit frischen Würmern in Dienst gestellt und dann mit 2 Achterserien gearbeitet.

a) 3.13 g Saccharin im Vergleich mit reiner Gelatine (7.—11. 8. 1931. Prot. 644—647. Tab. 13).

3,13 g Saccharin (Konz.-Stufe C = 0,017 g-mol) konnten in 100 g heißem Wasser nur unvollkommen gelöst werden. Bei der Zugabe der 20 g Gelatine entstand eine gleichmäßige weißlich-gelbe Aufschwemmung von Kriställchen. Sie schmeckte sehr süß, ohne unangenehm zu sein. Mit 4 gut einziehenden Terrarien (Ind. 9,7) wurden 3 Tagesversuche durchgeführt. Sie ergaben alle eine nahezu völlige Ablehnung des Saccharins (43:2, 36:6, 27:2). Auch alle Terrarienergebnisse waren negativ. Die auf der Saccharin-Seite eingezogenen Träger zeigten zudem noch ihren vollen Überzug, waren also nicht abgefressen worden. Es betrugen die Gesamtzahl der Einziehungen 116, das gesamte Zahlenverhältnis 106:10, das Prozentverhältnis 91,4:8,6, die Differenz der Prozente —82,8, 2 M = 5,2 und $P = 10^{-10}$. — Die 3,13 g-Saccharin-Gelatine wurde im Vergleich mit reiner Gelatine nahezu vollständig abgelehnt.

b) 0,63 g Saccharin im Vergleich mit reiner Gelatine (Tab. 13).

Mit 0,63 g Saccharin (Konz.-Stufe D = 0,0034 g-mol) wurden 3 Versuchsgruppen (1, 2, 3) durchgeführt: die erste im Rahmen der allgemeinen Serie, die zweite und dritte im Zuge von Versuchen mit kombinierten Geschmäcken. Die Ergebnisse sind etwas verschieden. 0,63 g Saccharin löste sich in 100 g heißem Wasser und 20 g Gelatine vollständig. Beim Erkalten der Gelatine entstand aber wieder ein schwacher, fein verteilter Niederschlag. Die kalte Gelatine schmeckte angenehm süß und etwas fad ohne jegliche Nebenwirkung. Die mechanischen Bedingungen waren die gleichen wie bei der reinen Gelatine.

1. Die Versuchsgruppe 1 (24. 8.—7. 9. 1931. Prot. 657—658 und 665—669) umfaßte 6 Tagesversuche. Nach dem zweiten waren 6 Versuche mit süßer Lupine eingeschaltet worden. 2 Terrariengruppen zu je 4 standen alternierend im Versuch. Ihre Würmer zogen gut ein (Ind. 9,9). Die Tagesergebnisse waren 34:13, 35:11, — 26:7, 26:17, 25:16, 22:6. Alle waren negativ für Saccharin. Von den 24 Terrarienergebnissen waren 2 positiv und 22 negativ. Es waren ferner die Gesamtzahl der Einziehungen 238, das Zahlenverhältnis 168:70, das Prozentverhältnis 70,6:29,4, die Prozentdifferenz —41,2, 2 M = 5,9 und $P = 10^{-10}$. — Die 0,63-g-Saccharin-Gelatine wurde im Vergleich mit reiner Gelatine stark abgelehnt.

2. Die Versuchsgruppe 2 (11.—17. 2. 1932. Prot. 792—797) schloß unmittelbar an Versuche mit Kochsalz (0,2 g) + Chinin (0,1 g) + Saccharin (0,32 g) an, die nahezu vollständig abgelehnt wurden. 8 Terrarien zogen mäßig gut ein (Ind. 6,9). Die 5 Tagesversuche waren alle klar negativ für Saccharin, die ersten etwas weniger als die späteren (37:20, 30:25, 41:15, 33:17, 41:18). Von den Terrarienergebnissen waren 5 positiv, 27 negativ und 3 indifferent. Die Gesamtzahl der Einziehungen betrug 277, das gesamte Zahlenverhältnis 182:95, das Prozentverhältnis 65,7:34,3, die Prozentdifferenz —31,4, 2 M = 5,7 und $P = 10^{-7}$. — In dieser Versuchs-

gruppe wurde die 0,63-g-Saccharin-Gelatine im Vergleich mit der reinen Gelatine ebenfalls stark abgelehnt.

3. Die 3. Versuchsgruppe mit 0,63 g Saccharin (11.—18. 7. 1932, Prot. 903—909) folgte unmittelbar auf Versuche mit 0,1 g Chinin. 8 Terrarien standen in Arbeit. Sie zogen mäßig gut ein (Ind. 6,1). Die 6 Tagesversuche zeigten anfangs eine mäßige, dann eine starke Ablehnung der Saccharin-Gelatine (34 : 20, 24 : 21, 10 : 10, 42 : 14, 45 : 15, 42 : 15), 5 waren negativ, 1 indifferent für Saccharin. Von den 48 Terrarienergebnissen waren 8 positiv, 33 negativ und 7 indifferent. Die Gesamtzahl der Einziehungen war 292, das gesamte Zahlenverhältnis 197 : 95, das Prozentverhältnis 67,5 : 32,5, die Prozentdifferenz —35,0, $2M = 5,5$ und $P = 10^{-8}$. — Auch in dieser Versuchsgruppe wurde die 0,63-g-Saccharin-Gelatine im Vergleich mit reiner Gelatine stark abgelehnt.

In allen 3 Versuchsgruppen wurde die 0,63-g-Saccharin-Gelatine klar und stark abgelehnt. Der Grad der Ablehnung ist jedoch etwas verschieden. Die Maßzahlen waren —41,2, —31,4, —35,0. Die Verschiedenheit ist etwas größer als man billigerweise erwarten möchte. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß sie auf einer etwas verschiedenen Disposition der Würmer beruht, die durch die den Versuchsgruppen unmittelber vorausgehenden Versuche hervorgerufen sein könnte. Bei der ersten war es eine Lupinefütterung, bei der zweiten ein kombinierter Versuch (Kochsalz + Chinin + Saccharin) und bei der dritten Chinin. Es scheint durchaus einleuchtend, daß der Lupine-Versuch einen geringen, der Chinin-Versuch einen etwas stärkeren und der kombinierte Versuch, der selbst Saccharin enthielt, einen noch stäkeren Einfluß auf die Disposition der Würmer zugunsten des Saccharin ausgeübt haben. Dafür könnte sprechen, daß bei der 2. Versuchsgruppe die ersten beiden, und bei der 3. die ersten 3 Tagesversuche eine etwas schwächere Ablehnung des Saccharins zeigten als die folgenden.

Zieht man alle 3 Versuchsgruppen zusammen, so erhält man insgesamt 807 Einziehungen im Verhältnis 547 : 260, das Prozentverhältnis 67,8 : 32,2, die Prozentdifferenz —35,6, $2M = 3,3$ und $P = 10^{-10}$. — Die Sicherheit der Ablehnung wird noch durch die Tatsache unterstrichen, daß von 17 Tagesergebnissen alle, ausgenommen 1 indifferentes, für Saccharin negativ gewesen sind.

c) 0,0313 g Saccharin im Vergleich mit reiner Gelatine (8. 9.–6. 10. 1931, Prot. 670—673 und 685—693, Tab. 13).

Die Versuchsgruppe mit 0,0313 g Saccharin (Konz.-Stufe F = 0,00017 g-mol) schloß unmittelbar an die 1. Versuchsgruppe mit 0,63 g Saccharin an. Das Saccharin löste sich vollständig in der Gelatinelösung. Diese schmeckte im kalten Zustand mäßig, aber sehr deutlich süß und angenehm; der Leimgeschmack war etwas zurückgedrängt, aber noch spürbar. 2 Terrariengruppen zu je 4 Terrarien wurden alternierend eingesetzt. Sie zogen mäßig gut ein (Ind. 7,4). Nach dem 4. Tagesversuch war über 14 Tage eine Versuchsgruppe mit modernder Lupine eingeschaltet worden. Insgesamt wurden 12 Tagesversuche angestellt. Ihre Zahlenverhältnisse waren 15 : 15, 13 : 18, 13 : 15, 24 : 27, — 18 : 14, 15 : 15, 15 : 15, 11 : 17, 12 : 14, 9 : 18, 9 : 14, 12 : 9. Es waren also 7 positiv, 2 negativ und 3 indifferent für Saccharin. Von den Terrarienergebnissen waren 25 positiv, 21 negativ und 5 indifferent. Die Gesamtzahl der Einziehungen betrug 357, das Zahlenverhältnis reine Gelatine : Saccharin 166 : 191, das Prozentverhältnis 46,5 : 53,5, die Prozentdifferenz +7,0, $2M = 5,3$ und $P = 0,19$. — Die ersten 4 Tagesversuche und die von ihnen durch die Lupineversuche getrennten letzten 8 hatten ziemlich genau dasselbe Ergebnis (Maßzahlen +7,1 bzw. +6,9). — Die 0,0313 g-Saccharin-Gelatine wurde der reinen Gelatine wahrscheinlich ein wenig vorgezogen, die statistische Sicherung beträgt aber nur 81 %.

d) 0,13 g Saccharin im Vergleich mit reiner Gelatine. (7.—16./10. 1931, Prot. 694—702, Tab. 13).

Die Versuche mit 0,13 g Saccharin (Konz.-Stufe E = 0,00068 g-mol) schlossen unmittelbar an die soeben berichteten an. Das Saccharin war auch in der kalten Gelatine vollkommen gelöst. Diese schmekte sehr süß, ohne Nebengeschmack. 2 Serien von je 8 Terrarien (1—8 und 9—16) waren alternierend eingesetzt; davon waren die Terrarien 1—8 bei den bisherigen Versuchen verwendet und die Terrarien 9—16 mit frisch gefangenen Würmern zusammengestellt worden. Die neuen Würmer zogen weniger gut ein als die alten. Der gesamte Einziehindex betrug nur 4,0. 8 Tagesversuche wurden ohne Unterbrechung durchgeführt. Alle waren negativ für Saccharin. Ihre Zahlenverhältnisse waren 12 : 7, 9 : 5, 23 : 11, 28 : 22, 28 : 12, 31 : 18, 17 : 9, 15 : 5. Von den Terrarienergebnissen waren 10 positiv, 39 negativ und 8 indifferent. Es waren ferner die Gesamtzahl der Einziehungen 252, das gesamte Zahlenverhältnis 163 : 89, das Prozentverhältnis 64,7 : 35,3, die Prozentdifferenz —29,4, $2M = 6,0$ und $P = 10^{-6}$. — Die 0,13-g-Saccharin-Gelatine wurde im Vergleich mit reiner Gelatine stark abgelehnt.

Tabelle 13. Saccharin im Vergleich mit reiner Gelatine. C—F Konzentrationsstufen isomolekular zu den entsprechenden der anderen Stoffe.

Konz. in g	Anzahl der		Eingezogen			%		Diff. d. %	P
	Vers.	Terr.	insges.	r. Gel.	Saccharin	r. Gel.	Saccharin		
C=3,13	3	12	116	106	10	91,4	8,6	—82,8	10^{-10}
D=0,63	17	112	807	547	260	67,8	32,2	—35,6[1])	10^{-10}
E=0,13	8	64	252	163	89	64,7	35,3	—29,4	10^{-6}
F=0,0313	12	48	357	166	191	46,5	53,5	+ 7,0	0,19

1) Ergebnis von 3 Versuchsgruppen (1, 2, 3) mit den Prozentdifferenzen —41,2, —31,4 und —35,0.

e) Übersicht über die Versuche Saccharin : reine Gelatine (Tab. 13, Abb. 4).

Bei den 4 mit Saccharin erprobten Konzentrationen 0,0313 g,— 0,13 g— 0,63 g— 3,13 g ergaben sich die Maßzahlen + 7,0, —29,4, —35,6, —82,8. Die niedrigste Konzentration wurde sehr wahrscheinlich etwas positiv bewertet, die höheren ansteigend abgelehnt. Eine starke Ablehnung ist schon bei 0,13 g nachweisbar. Vielleicht ist auch bei Saccharin in niedriger Konzentration ein Optimum vorhanden, das aber nur durch genauer dosierte Untersuchungen erfaßt werden kann. Sicher ist, daß das Saccharin wie für den Menschen, so auch für den Regenwurm einen außerordentlich hohen Reizwert besitzt. In den niedrigen Konzentrationen (z. B. 0,13 g) hat das Saccharin ungefähr dieselbe Reizintensität wie das Chinin und eine ungefähr dreimal so hohe wie das Kochsalz. Die Reaktionsschwelle dürfte schon bei der 0,0313-g-Konzentration, d. h. etwa bei einer 0,03 %igen oder 1/1000-mol-Lösung liegen.

Die einzelnen Versuchsgruppen liefen ziemlich einförmig ab. Ihre Tagesergebnisse zeigten nur geringe Schwankungen. Dies läßt darauf schließen, daß das Saccharin für den Regenwurm einen sehr präzis wirkenden Geschmacksreiz enthält und eine deutliche Empfindung auslöst. — Mäßige Schwankungen ergaben sich in den Ergebnissen der 3 Versuchsgruppen mit 0,63 g. Sie können vielleicht auf die Streuung oder auf eine etwas verschiedene Disposition der Würmer zurückgeführt werden (S. 549).

Von einer besonderen Kurvendarstellung der Ergebnisse mit Saccharin wird abgesehen, da die Anzahl der geprüften Konzentrationen nur gering ist. Die Kurve der Einziehprozente der Saccharingelatine scheint der organischer Säuren mit ihrem Optimum in den niedrigen Kozentrationen ähnlich zu sein, im negativen Bereich zeigt sie vielleicht einen ähnlichen Verlauf wie die Salzsäure (Abb. 2). Über die Lage der Logarithmen der Einziehprozente läßt sich noch nichts Sicheres aussagen. Weiteres siehe S. 552 und Abb. 4.

4. Besprechung der Versuche mit Süßstoffen (Abb. 4).

Die Ergebnisse der Vergleichsversuche Süßstoff : reine Gelatine wurden auf der Abb. 4 im gleichen Maßstab aufgezeichnet. Dabei wurden auf der Abszisse die Konzentrationen in Gramm und auf der Ordinate die Einzieh-

prozente der Süßstoffgelatinen aufgetragen. Die Parallele zur Abszisse auf der Höhe von 50% stellt die 50-%-Linie dar, auf der reine Gelatine und Geschmackstoffgelatine einander gleich gewertet werden (Maßzahl 0 %). Die über ihr gelegenen Punkte bezeichnen eine Bevorzugung, die unter ihr gelegenen eine Ablehnung der Geschmackstoffgelatine gegen die reine Gelatine.

Alle 3 behandelten Süßstoffe: Glukose, Saccharose und Saccharin wurden von den Würmern wahrgenommen. In den niederen Konzentrationen reagierten die Würmer beim Vergleich mit reiner Gelatine mit einer leichten Bevorzugung, in den höheren Konzentrationen mit steigender Ablehnung. Offensichtlich besteht in den niedrigen Konzentrationen ein Optimum.

Die Reaktionsschwelle liegt bei Glukose wahrscheinlich unter 12 g (etwa gleich einer Lösung von 9% oder $^2/_3$ mol), denn von den mit dieser Konzentration vorliegenden 2 Versuchsgruppen ergab die erste die Prozentdifferenz

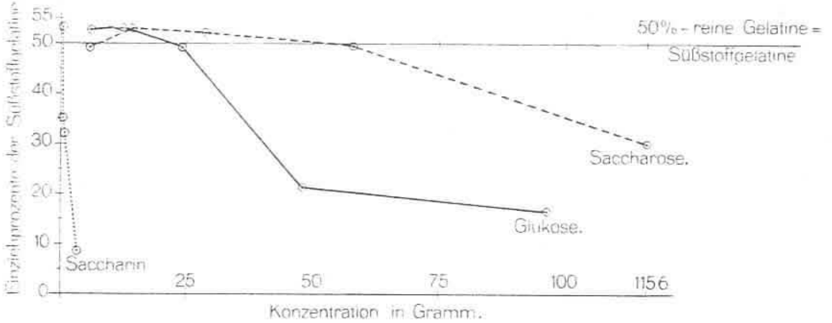

Abb. 4. Graphische Darstellung des Verhaltens des Regenwurms beim Vergleich verschieden stark konzentrierter Süßstoffgelatine (Saccharin, Glukose, Saccharose) mit reiner Gelatine. Auf der Abszisse die Süßstoffkonzentration in Gramm (höchste 115,6 g), auf der Ordinate die Einziehprozente der Süßstoffgelatine abgetragen. — Die Parallele zur Abszisse in Höhe von 50%, die 50-%-Linie, bezeichnet die Orte gleicher Wertung von Süßstoffgelatine und reiner Gelatine. — Punktierte Kurve = Saccharin, durchgezogene Kurve = Glukose, gestrichelte Kurve = Saccharose.

+ 13,6. Bei Saccharose liegt die Reaktionsschwelle sicher unter 28,9 g (etwa gleich einer Lösung von 19,4% oder 0,56 mol), denn die mit dieser Konzentration durchgeführten Versuche ergaben sehr starke Ausschläge nach der positiven und negativen Seite (Prozentdifferenzen zwischen + 46,0 und —18,2); wahrscheinlich liegt sie sogar unter der 14,46-g-Konzentration (etwa gleich einer Lösung von 11% oder $^1/_3$ mol). Bei Saccharin dürfte die Reaktionsschwelle unter der 0,0313-g-Konzentration liegen (etwa gleich einer Lösung von 0,03% oder $^1/_{1000}$ mol), da die beiden 10 Tage auseinanderliegenden Versuchsabschnitte der Versuchsgruppe dasselbe etwa zu 80% gesicherte Ergebnis lieferten (Prozentdifferenz + 7,1 bzw. + 6,9). Bezogen auf mol-Lösungen in Gelatine liegen also die Reaktionsschwellen für Glukose etwa bei $^2/_3$ mol, für Saccharose etwa bei $^1/_3$—$^1/_2$ mol, bei Saccharin etwa bei $^1/_{1000}$ mol. Daraus ergibt sich als Verhältnis der Reizintensitäten im Bereich der Reaktionsschwellen Glukose : Saccharose : Saccharin etwa 1 : 2 : 660. Diese Werte sind denen beim Menschen recht ähnlich.

In den niedrigen Konzentrationen werden Glukose und Saccharose etwas lieber genommen als die sehr beliebte reine Gelatine, und zwar die Glukose-Gelatine bis zu einer etwa 20%igen Lösung und die Saccharose-Gelatine bis zu einer etwa 30%igen. Erst in den höheren Konzentrationen fallen sie gegen die reine Gelatine etwas ab, ohne aber vollkommen abgelehnt zu werden (Abb. 4). Das Verhalten der Würmer zu den beiden Zuckern ist aber im positiven Bereich der Kurve schwankend. Besonders auffällig war dies bei der 28,9-g-Konzentration der Saccharose (S. 543), weniger bei der Glukose. Die beiden Zucker sind beim Regenwurm offenbar in ähnlicher Weise beliebt wie beim Menschen, sie bilden angenehme und milde Geschmacksreize, die bis zu hohen Konzentrationen gern, in sehr hohen Konzentrationen weniger gern angenommen werden. Das Saccharin wird dagegen nach einer etwas unsicheren leichten Bevorzugung in der 0,0313-g-Konzentration mit steigender Konzentration mehr und mehr abgelehnt.

Überraschend sind die Befunde im negativen Bereich der Kurven der Abb. 4. Betrachtet man hier die Verhältnisse etwa in Höhe der 40%igen Einziehung der Geschmackstoffgelatine, so ergibt sich, daß die Würmer auf die Glukose ungefähr doppelt so stark reagierten wie auf die Saccharose, und auf das Saccharin etwa 100 mal so stark wie auf die Glukose und etwa 200 mal so stark wie auf die Saccharose. Diese Werte behalten eine ähnliche Größenordnung, wenn man die Konzentration, anstatt wie in der Abb. 4 in g, in g-mol verzeichnet. Wesentlich ist, daß in den hohen Konzentrationen die Glukose offenbar stärker wirkt als die Saccharose. Dies widerspricht unseren Ermittlungen bei den Reaktionsschwellen und auch den Erfahrungen beim Menschen. Für diesen besitzt nach v. Frisch (1934, S. 69) die 1-mol-Lösung von Glukose etwa den Süßigkeitsgrad einer $^1/_4$-mol-Lösung von Saccharose.

Man wird hier zuerst in Erwägung ziehen, ob die Konsistenz der Geschmackstoffgelatine durch den Zusatz der großen Gewichtsmengen der beiden Zucker nachteilig verändert worden ist und dadurch die Ablehnung bewirkt hat. Diese Möglichkeit wurde schon S. 546 besprochen und wird besonders durch die Tatsache unwahrscheinlich, daß die Würmer die Glukose in den 3 Konzentrationen 24 g, 48 g und 96 g stärker ablehnten als die Saccharose in den Konzentrationen 28,9 g, 57,8 g und 115,6 g.

Weiterhin wird man in Betracht ziehen, daß bei einer im wesentlichen ähnlichen Geschmacksqualität der beiden Zucker (etwa süß) in den hohen Konzentrationen für die Würmer ein Beigeschmack auftritt, der die Ablehnung ihrer Gel.-lösungen bewirkt, und der bei der Glukose sich stärker geltend macht als bei der Saccharose oder auch nur der Glukose eigen ist. Mit solchen „vergällenden Nebengeschmäcken“ müssen wir nach den Erfahrungen des Menschen beim Saccharin und denen von v. Frisch (1934) bei der Biene rechnen.

Schließlich könnte man bei der stärkeren Wirkung der Glukose aber auch daran denken, daß die Anzahl der Moleküle maßgebend sei: denn gleiche Ge-

wichtskonzentrationen enthalten ungefähr 2 mal so viele Moleküle des Monosaccharids Glukose wie des Disaccharids Saccharose. Nach dieser Annahme müßten isomolekulare Konzentrationen im Vergleich mit reiner Gelatine dasselbe Ergebnis liefern oder, direkt miteinander verglichen, gleich gewertet werden. Bei Glukose und Saccharose liegt nun der direkte Vergleich isomolekularer Mengen vor: 17.05 g Glukose direkt mit 28.90 g Saccharose verglichen ergab eine eindeutige Bevorzugung der Saccharose (Prozentdifferenz + 20.0, Tab. 12). Die Anzahl der Moleküle kann also bei den beiden Zuckern für die verschiedene Wirkung nicht maßgebend sein.

Dies wird noch eindrucksvoller deutlich, wenn man auch das Saccharin zuzieht. Von diesem ist die Konzentration $C = 3.13$ g isomolekular der C-Konzentration von Saccharose (5.78 g) und der C-Konzentration von Glukose (3.41 g). Im Vergleich mit reiner Gelatine ergaben die 3.13 g Saccharin-Gelatine die Maßzahl —82.8, die 5.78 g Saccharose-Gelatine die Maßzahl —1.2. Bei Glukose wurde die Konzentration $C = 3.41$ g nicht geprüft, die etwas höhere Konzentration von 6 g ergab die Maßzahl + 5.6; für 3.41 dürfte sie sicher etwa um 0 liegen. Isomolekulare Mengen der 3 geprüften Süßstoffe haben also verschiedenen Reizwert für die Regenwürmer.

Abschließend muß jedoch betont werden, daß es vorläufig ganz ungeklärt ist, ob die 3 geprüften Süßstoffe Glukose, Saccharose und Saccharin für den Regenwurm dieselbe Geschmacksqualität besitzen und ob diese gar unserem süß entspricht. Für ihre Ähnlichkeit läßt sich bis jetzt nur das Optimum in den niedrigen Konzentrationen geltend machen, das aber auch bei den organischen Säuren gefunden wurde. Auffällig ist ferner das Verhältnis ihrer Reaktionsschwellen, das dem beim Menschen recht ähnlich ist.

Für das Saccharin mag noch darauf hingewiesen werden, daß es für den Regenwurm schon in den niedrigen, für den Menschen rein süß schmeckenden Konzentrationen einen sehr hohen Reizwert besitzt. Der Regenwurm unterscheidet sich hier deutlich von den Bienen und anderen wirbellosen Tieren (s. v. FRISCH, 1934, p. 77 u. ff.).

VI. Zusammenfassung der Ergebnisse.

1. Mit der 1951 ausführlich dargestellten Einziehmethode wurde das Verhalten des Regenwurms gegen den Bitterstoff Chinin, die Säuren: Salzsäure, Phosphorsäureanhydrid, Oxalsäure, Apfelsäure, Zitronensäure, R-Weinsäure und Traubensäure und die Süßstoffe: Glukose, Saccharose und Saccharin geprüft. Sie wurden jeweils in verschiedener Konzentration in 100 g destilliertem Wasser und 20 g Gelatine gelöst (Geschmackstoffgelatine) und mit reiner Gelatine verglichen. Die Gelatinelösung dämpft die Reizwirkung der Geschmackstoffe beträchtlich und wirkt bei den Säuren neutralisierend. Auch der wahrscheinlich alkalisch wirkende Speichel der Würmer ist wohl von Einfluß,

wichtskonzentrationen enthalten ungefähr 2 mal so viele Moleküle des Monosaccharids Glukose wie des Disaccharids Saccharose. Nach dieser Annahme müßten isomolekulare Konzentrationen im Vergleich mit reiner Gelatine dasselbe Ergebnis liefern oder, direkt miteinander verglichen, gleich gewertet werden. Bei Glukose und Saccharose liegt nun der direkte Vergleich isomolekularer Mengen vor: 17.05 g Glukose direkt mit 28.90 g Saccharose verglichen ergab eine eindeutige Bevorzugung der Saccharose (Prozentdifferenz + 20.0, Tab. 12). Die Anzahl der Moleküle kann also bei den beiden Zuckern für die verschiedene Wirkung nicht maßgebend sein.

Dies wird noch eindrucksvoller deutlich, wenn man auch das Saccharin zuzieht. Von diesem ist die Konzentration C = 3.13 g isomolekular der C-Konzentration von Saccharose (5.78 g) und der C-Konzentration von Glukose (3.41 g). Im Vergleich mit reiner Gelatine ergaben die 3.13 g Saccharin-Gelatine die Maßzahl — 82.8, die 5.78 g Saccharose-Gelatine die Maßzahl — 1.2. Bei Glukose wurde die Konzentration C = 3.41 g nicht geprüft, die etwas höhere Konzentration von 6 g ergab die Maßzahl + 5.6; für 3.41 dürfte sie sicher etwa um 0 liegen. Isomolekulare Mengen der 3 geprüften Süßstoffe haben also verschiedenen Reizwert für die Regenwürmer.

Abschließend muß jedoch betont werden, daß es vorläufig ganz ungeklärt ist, ob die 3 geprüften Süßstoffe Glukose, Saccharose und Saccharin für den Regenwurm dieselbe Geschmacksqualität besitzen und ob diese gar unserem süß entspricht. Für ihre Ähnlichkeit läßt sich bis jetzt nur das Optimum in den niedrigen Konzentrationen geltend machen, das aber auch bei den organischen Säuren gefunden wurde. Auffällig ist ferner das Verhältnis ihrer Reaktionsschwellen, das dem beim Menschen recht ähnlich ist.

Für das Saccharin mag noch darauf hingewiesen werden, daß es für den Regenwurm schon in den niedrigen, für den Menschen rein süß schmeckenden Konzentrationen einen sehr hohen Reizwert besitzt. Der Regenwurm unterscheidet sich hier deutlich von den Bienen und anderen wirbellosen Tieren (s. v. Frisch, 1934, p. 77 u. ff.).

VI. Zusammenfassung der Ergebnisse.

1. Mit der 1951 ausführlich dargestellten Einziehmethode wurde das Verhalten des Regenwurms gegen den Bitterstoff Chinin, die Säuren: Salzsäure, Phosphorsäureanhydrid, Oxalsäure, Apfelsäure, Zitronensäure, R-Weinsäure und Traubensäure und die Süßstoffe: Glukose, Saccharose und Saccharin geprüft. Sie wurden jeweils in verschiedener Konzentration in 100 g destilliertem Wasser und 20 g Gelatine gelöst (Geschmackstoffgelatine) und mit reiner Gelatine verglichen. Die Gelatinelösung dämpft die Reizwirkung der Geschmackstoffe beträchtlich und wirkt bei den Säuren neutralisierend. Auch der wahrscheinlich alkalisch wirkende Speichel der Würmer ist wohl von Einfluß,

besonders auf die Säuren. Bei den meisten Säuren, Saccharose und Saccharin wurde mit isomolekularen Konzentrationen gearbeitet (Tab. 1).

2. Alle geprüften Stoffe wurden von einer bestimmten Konzentration ab von den Würmern wahrgenommen und im Vergleich mit reiner Gelatine vorgezogen oder abgelehnt. Das Maß der Bevorzugung oder Ablehnung ist abhängig von der Konzentration.

3. Die niedrigsten Konzentrationen, auf die die Würmer nachweislich reagieren (Reaktionsschwellen) lagen in der Regel unter oder im Bereich der Reizschwellen der die Versuche durchführenden Personen (Lösungen in Gelatine).

4. Beim Vergleich der Chiningelatine mit der reinen Gelatine wurde die Chiningelatine stets weniger gern eingezogen als die reine Gelatine. Schon 0,01 g Chinin in 100 g Wasser und 20 g Gelatine (= 0,0083% und 0,00028-g-mol) wurden wahrgenommen und weniger gern genommen als reine Gelatine (Reaktionsschwelle = 0,002-mol-Gelatinelösung). Das Maß der Ablehnung steigt gesetzmäßig mit der Konzentration der Chiningelatine. Die Annahme der Chiningelatine in den steigenden Konzentrationen fällt entlang einer Exponentialkurve (Tab. 2, Abb. 1). Die Präzision der Unterscheidung der Chiningelatine von der reinen Gelatine steigt mit steigender Konzentration. Die 1 g Chiningelatine wird im Vergleich mit reiner Gelatine nahezu vollkommen abgelehnt (Prozentdiff. — 86,8), allein geboten wird sie wohl angenommen, senkt aber die Einziehfreudigkeit beträchtlich.

5. Salzsäuregelatine (Tab. 3) wird ähnlich wie Chiningelatine in allen wahrgenommenen Konzentrationen abgelehnt und zwar wieder um so mehr, je stärker die Konzentration ist. Die Einziehprozente fallen mit steigender Konzentration: sie liegen auf einer Kurve ähnlich der beim Chinin festgestellten (Tab. 3, Abb. 2). Die Reaktionsschwelle liegt beträchtlich unter der 0,2-ccm-Konzentration (= 0,02-mol-HCl-Gelatinelösung) und unter der Reizschwelle der Versuchsperson.

6. Phosphorsäureanhydrid (Tab. 4), Apfelsäure (Tab. 6), Zitronensäure (Tab. 7), Rechts-Weinsäure (Tab. 8) und Traubensäure (Tab. 9) werden in niedrigen Konzentrationen lieber genommen als reine Gelatine, in höheren aber mehr und mehr abgelehnt. Sie zeigen bei jeweils verschiedener Konzentration ein Optimum (Abb. 3a). Ihre Reaktionsschwellen liegen unter, teilweise sogar beträchtlich unter der 0,03-mol-Säure-Gelatinelösung.

7. Oxalsäure (Tab. 4) wird bis in ziemlich hohe Konzentrationen der reinen Gelatine vorgezogen. Ihre Reaktionsschwelle liegt ebenfalls unter der 0,03-mol-Oxalsäure-Gelatinelösung.

8. Isomolekulare Konzentrationen der verschiedenen Säuren haben verschiedene Reizwerte (Abb. 3b). — Die Bewertung der verschiedenen Säuregelatinen ging auffallend parallel mit der durch die Versuchsperson (S. 536, Tab. 10).

9. Da die isomolekularen Gelatinelösungen der 4 schwachen organischen Säuren: Zitronensäure, Apfelsäure, R-Weinsäure und Traubensäure in ihrer Wirkung neben ähnlichen Zügen auch beträchtliche Verschiedenheiten aufwiesen, muß damit gerechnet werden, daß außer den H-Ionen auch die Anionen oder undissoziierten Moleküle bei der Reizwirkung beteiligt sind. Dafür sprechen gewisse Ähnlichkeiten bei den Ergebnissen der Versuche mit Traubensäure und R-Weinsäure, die gleiche Anionen besitzen.

10. Glukose (Tab. 11) und Saccharose (Tab. 12) werden bis in hohe Konzentrationen (24 g bzw. 57,8 g entspricht etwa 20% bzw. 30%) der Gelatine gleich gewertet oder ein wenig vorgezogen, also sehr gern genommen. Erst höhere Konzentrationen führen zur Ablehnung (Abb. 4). Bei den niedrigen Konzentrationen zeigten beträchtliche Schwankungen, daß sie wahrgenommen wurden. — Die Reaktionsschwelle liegt für Glukose bei einer Lösung von 12 g, d. h. etwa von 9% oder $^2/_3$ mol, für Saccharose bei einer Lösung von 14,46 bis 28,9 g, d. h. von 11—20% oder $^1/_3$—$^1/_2$ mol. — Hohe Konzentrationen geben der Gelatine eine sirupartige Konsistenz und senken die allgemeine Einziehleistung (Einziehindex).

11. Saccharin (Tab. 13) wird in schwachen Konzentrationen der reinen Gelatine wahrscheinlich ein wenig vorgezogen, in höheren aber mehr und mehr abgelehnt (ähnlich Chinin und Salzsäure). Die Reaktionsschwelle liegt schon bei einer Lösung von 0,0313 g oder $^1/_{1000}$ mol. Diese schmeckt auch für den Menschen noch mäßig süß.

12. Die Reizstärken der 3 Süßstoffe Glukose, Saccharose und Saccharin verhalten sich im Bereich der Reaktionsschwellen etwa wie 1 : 2 : 660, zeigen also ein ähnliches Verhältnis wie beim Menschen. Im Bereich der mäßigen Ablehnung (etwa 40%ige Einziehung der Geschmackstoffgelatine) wirkt Glukose stärker als Saccharose. Isomolekulare Lösungen der 3 Süßstoffe haben verschiedene Reizstärken.

13. Die erhaltenen Zahlenwerte sind am zuverlässigsten beim Chinin, weniger bei den Säuren und Saccharin und noch weniger bei Glukose und Saccharose. — Nicht selten unterscheiden sich in derselben Versuchsgruppe die ersten Tagesversuche hinsichtlich ihrer Einziehintensität oder ihres Zahlenverhältnisses von den folgenden, was die Annahme einer Kontrastwirkung gegenüber der jeweils vorhergehenden Fütterung oder dem vorhergehenden Versuchsstoff oder einer Ermüdung der Sinnesorgane nahelegt (S. 538 u. 548). Auch das Differieren verschiedener, dieselbe Konzentration desselben Geschmackstoffs behandelnder Versuchsgruppen, könnte durch die Gewöhnung der Würmer an die verschiedenartigen, jeweils vorhergegangenen Versuche gedeutet werden (0,63 g Saccharin, S. 549).

14. Der Befund, daß die Annahmeprozente der Chiningelatine und wahrscheinlich auch der Salzsäuregelatine mit steigender Konzentration entlang einer Exponentialkurve abfallen (Abb. 1), zeigt wichtige mathematische Beziehungen auch im Bereich des Geschmacksinns des Regenwurms. Zu ihrer

Beurteilung wurden das Weber-Fechnersche Gesetz und die Treffer-Theorie herangezogen (S. 510).

VII. Literaturverzeichnis.

Autrum, H. und Aulhorn, O., Naturforschung und Medizin in Deutschland 1939—1946. Bd. 59 Physiologie. S. 217—225. Dietrich'sche Verlagsbuchhandlung Wiesbaden.

Chadwick, L. E. and Dethier, V. G. (1947), The relationship between chemical structure and the response of blowflies to tarsal stimulation by aliphatic acids. J. gen. Physiol. vol. **30**, p. 255—262.

Engelhard, H. und Houtermans, Th. (1950), Über den Absterbevorgang bei Bakterien und Sporen unter der Einwirkung chemischer Agenzien. Z. Naturforschg. Bd. 5b, S. 30—38.

— (1951), Über die Interpretation der experimentellen Absterbekurven von Bakterien bei Giftwirkung. Ibid. Bd. 6b, S. 384—387.

Frisch, K. v. (1934), Über den Geschmacksinn der Biene. Z. vergl. Physiol. **21**, 1—156.

Hartmann, M. (1947), Allgemeine Biologie 3. Aufl. Verl. Gustav Fischer, Jena.

Hurwitz, S. H. (1910), The reactions of earthworms to acids. Proc. Americ. acad. arts. a. sc. **46**, 65—81.

Jordan, H. (1913), Vergleichende Physiologie wirbelloser Tiere. 1. Bd. Die Ernährung. Verl. Gustav Fischer, Jena.

Kribs, H. G. (1910), The reactions of Aeolosoma to chemical stimuli. J. of exper. Zool. **8**, 43—74.

Langendorff, H. (1948), Biologische Grundlagen der Strahlentherapie. In „Die Strahlentherapie" (hrsg. von Mayer, H. und Matthes, K.). Georg Thieme Verlag, Stuttgart.

Mangold, O. (1924), Beobachtungen und Experimente zur Biologie des Regenwurms I. (Lauterzeugung, Formsinn und chemischer Sinn.) Z. vergl. Physiol. **2**, 57—81.

— (1931), Über den chemischen Sinn des Regenwurms. Naturwiss. Jahrg. **19**, H. 35, 730—735.

— (1935), Kombination verschiedener Geschmacksqualitäten zur Untersuchung des chemischen Sinns des Regenwurms. Ibid. **23**, H. 26/28, 472—474.

— (1951), Experimente zur Analyse des chemischen Sinns des Regenwurms. I. Methode und Verhalten zu Blättern von Pflanzen. Zool. Jb. (Physiol.), **62**, 441—512.

Shohl, A. T. (1914), Reactions of earthworms to hydroxyl ions. Amer. J. of Physiol. **34**, 384—404.

Skramlik, E. v. (1926), Handbuch der Physiologie der niederen Sinne I. Die Physiologie des Geruchs- und Geschmacksinnes. Leipzig.

Thilo, G. (1950—51), Sinnesreiz und Sinnesempfindung (Das Weber-Fechnersche psy[illegible]-physische Gesetz). Der Mathem. und naturwiss. Unterricht. Bd. 3, S. 84—88.

Timoféeff-Ressovsky, N. W. und Zimmer, K. G. (1947), Biophysik. Bd. 1. Das T[illegible]fferprinzip in der Biologie. S. Hirzel Verlag, Leipzig.